



# المؤتمر الوطني العاشر

لمواد البناء والهندسة الإنشائية

16-15 ابريل 2025م

جامعة سرت



2025



مجلد

أبحاث المؤتمر

تحرير

د. محمد علي عبدالله الصغير د. علي كركه علي درياق

منشورات مركز البحوث والاستشارات- جامعة سرت  
الطبعة الأولى 2025 م

# المؤتمر الوطني العاشر لمراد البناء والهندسة الإنشائية

تنظيم قسم الهندسة المدنية والمعمارية  
كلية الهندسة-جامعة سرت

15 - 16 أبريل 2025

تحرير

د. على كركره على درياق

د. محمد على عبدالله الصغير

# المؤتمر الوطني العاشر لمواد البناء والهندسة الإنشائية سرت 15-16 أبريل 2025م

الوكالة الليبية للتقييم الدولي الموحد للكتاب

دار الكتب الوطنية

بنغازي - ليبيا

هاتف: 9097074-9096379-9090509

بريد مصور: 9097073

البريد الإلكتروني: nat\_lib\_libya@hotmail.com

رقم الإيداع القانوني: 2024/625

رقم الإيداع الدولي: ردمك 6-39-891-9959-978 ISBN

تصميم الغلاف / خالد جمعه المهلهل

حقوق النشر والطبع محفوظة لمركز البحوث والاستشارات جامعة سرت

الطبعة الأولى 2025م

## المحتويات

1. مقدمه: ..... v
2. كلمة رئيس الجامعة ..... vi
3. كلمة وكيل الجامعة للشؤون العلمية ..... vii
4. كلمة رئيس المؤتمر ..... viii
5. لجان المؤتمر ..... ix
6. دراسة مقارنة جودة الطوب الاسمنتي المفرغ ببلدية الزاوية ..... 2
7. استخدام البوزولانا الطبيعية كبديل جزئي للإسمنت في صناعة المونة الإسمنتية ..... 12
8. تأثير زمن حرق البوزولانا المحلية على خواص المونة الاسمنتية ..... 20
9. تأثير ألياف السليلوز المعاد تدويرها على الخصائص الميكانيكية للمواد الأسمنتية ..... 28
10. مقاومة الضغط للخرسانة ذاتية الدمك باستخدام البوزولانا المحلية ..... 37
11. تأثير النعومة على خصائص المونة البوزولانية ..... 46
12. متانة الخرسانة ذاتية الدمك لهجوم الكبريتات باستخدام البوزولانا المحلية ..... 55
13. تأثير الركام المعاد تدويره من الخرسانة العادية والخرسانة المطاطية على خصائص الخرسانة ..... 67
14. ايجاد العلاقة بين مقاومة الضغط للأسطوانة والمكعب للخرسانة مسبقة وضع الركام ..... 85
15. دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للركام الناعم من مصادر مختلفة في دولة ليبيا ..... 92
16. تطوير تقنية البناء لحوائط التربة المدموكة: دراسة حول تربة جامعة طرابلس - ليبيا ..... 104
17. دراسة مرجعية للخرسانة المعرضة للهجوم الثنائي للكبريتات ..... 117
18. دراسة أنواع الأملاح في تربة الكثبان الرملية بمنطقة الزلاف ..... 127
19. استخدام تكنولوجيا خلطات الأسفلت الدافئ وتقنياتها في أعمال تنفيذ الطرق الأسفلتية وصيانتها ..... 135
20. دراسة التفاعل البوزولاني للبوزولانة الطبيعية النانوي المتحصل عليها بالمعالجة بالموجات فوق الصوتية ..... 146
21. تأثير الرماد المتطاير على مواصفات المونة الاسمنتية ..... 156
22. تأثير الفواصل الباردة الطبقيّة على سلوك الانحناء للبلاطات ..... 166
23. تأثير الانضاج المبكر على بعض خواص الخرسانة ذاتية الدمك ..... 181
24. تشغيلية ومقاومة الضغط للخرسانة بإستبدال جزئي للإسمنت بمسحوق الرخام ..... 195
25. دراسة تأثير اضافة البولسترين على بعض خواص الخرسانة ..... 205
26. تأثير الظروف المناخية على الخواص الميكانيكية للخرسانة العادية وعالية المقاومة ..... 215
27. الطويل للتكامل المتناهي وتطبيقها في تحليل مسألة الإنبعاج الجانبي لعارضة ..... 227
28. حوائط القص في المباني المرتفعة: الموضع الأمثل، الإرتفاع المؤثر، دراسة مقارنة ..... 235
29. تعزيز الاستقرار الهيكلي: التحليل العددي لتقليل تشوه الكمرات ..... 250
30. تصنيف المواقع الزلزالية كما ورد في مسودة المواصفات الليبية المقترحة والمواصفات الأمريكية IBC والمواصفات الأوروبية EC-8 (دراسة مرجعية) ..... 270

31. تأثير الأحمال الحرارية على تباعد فواصل التمدد في المباني الخرسانية، دراسة مقارنة..... 279
32. سلوك الألواح المرتكزة على التربة الرملية ..... 292
33. دراسة عددية لسلوك الإنحناء للكمرات المركبة الخرسانية الهندسية فائقة الأداء المدعمة (UHP-ECC) 302
34. استخدام البولي ايثلين كإضافة للإسفلت لتحسين ثبات مارشال ..... 319
35. تقييم فني لمبنى خرساني متضرر جراء قذائف حرب: دراسة حالة..... 330
36. التحليل الحراري للأعمدة الخرسانية المسلحة المعرضة للحريق باستخدام طريقة العناصر المحدودة ..... 339
37. مفهوم الشروخ بالأعمدة الخرسانية وطرق معالجتها لتحقيق الاستقرار الإنشائي (ورقة مراجعة)..... 349
38. تأثير الكلوريد على المباني الخرسانية المسلحة القائمة ..... 359
39. إيجاد علاقة بين نظام فحص وتقييم سطح الرصف (PASER) ومؤشر الخشونة الدولي (IRI) ..... 372
40. مؤشر حالة الرصف لتقييم وإعادة تأهيل الطرق - ورقة استعراضية..... 385
41. إزالة السدود - بديل عن الصيانة والإصلاحات المكلفة (سدود مدينة سرت) ..... 393
42. متانة المباني الخرسانية في مدينة سرت (دراسة حالات)..... 413
43. التقييم الإنشائي وإعادة التأهيل لمبنى تعرض لتشوهات إنشائية (كلية الطب جامعة سبها كحالة دراسية) 425
44. دراسة كيفية خلق إدارة مستدامة لمخلفات الهدم والبناء في الجنوب الليبي / فزان - مدينة سبها ..... 436
45. تصدع المنشآت الخرسانية المتعرضة لمياه البحر (دراسة ميدانية على مبني الأورام بصبراتة ومرافأ صبراتة للمصيد البحر) ..... 451
46. دراسة تأثير بعض أنواع الرمال المحلية على خواص المونة الإسمنتية..... 462

## مقدمه:

نظرا لما تزخر به ليبيا من توفر خامات مواد البناء بكميات ونوعيات ودرجات متفاوتة من الجودة تسمح غالبا بالوفاء بجميع احتياجات في مجال البناء والتشييد نظرا لقربها وسهولة الوصول اليها لاستغلالها بالشكل الأمثل، بالإضافة الى ملائمتها لظروف المناطق العمرانية فقد جاءت فكرة عقد هذه السلسلة من المؤتمرات الوطنية المتخصصة في مجال مواد البناء والهندسة الإنشائية وذلك لهدفين.. الأول لخلق مناخ علمي على مستوى الوطن تلتقي فيه الخبرات الوطنية الأكاديمية من جميع أقسام الهندسة المدنية والمعمارية بالجامعات الليبية، والثاني هو تحفيز المهندسين وطلاب الدراسات العليا والباحثين للبحث العلمي وتوفير المناخ العلمي لنشر بحوثهم، وبناء على ذلك فقد كان أول انطلاق لفكرة هذه السلسلة من المؤتمرات من قسم الهندسة المدنية بجامعة سرت سابقا عام 2002 تحت أسم المؤتمر الوطني الأول لمواد البناء والهندسة الإنشائية، ونظرا للنجاح الكبير الذي حظي به المؤتمر آنذاك، أوصى المؤتمر بالاستمرار بعقده كل عامين، وتم تشكيل اللجنة الدائمة للمؤتمر أوكل اليها مهمة متابعة عقد هذه السلسلة من المؤتمرات، وتوالى بعدها انعقاد المؤتمر لأربع دورات متتالية في عام 2004، 2006، 2008، 2010 في كل من جامعة المرقب ومصراته والزاوية وأكاديمية الدراسات العليا بجنزور، ونظرا للظروف التي مرت بها بلادنا الحبيبة فقد تأخر عقد الدورة السادسة عن موعدها المقرر في عام 2012، ولكن بفضل الله أولا ثم بالجهود المتواصلة للجنة الدائمة للاستمرار في عقد هذه السلسلة من المؤتمرات فقد تم عقد المؤتمر السادس بجامعة الجبل الغربي بغيريان عام 2016، وتوالى بعدها انعقاد الدورات في عام 2018، 2020، 2022 في كل من جامعة عمر المختار بالبيضاء وجامعة بني وليد وجامعة طرابلس على التوالي، وها هو المؤتمر الوطني العاشر (الفضي) لمواد البناء والهندسة الإنشائية يتم استضافته من قبل جامعة سرت في الفترة من 29 - 30 أكتوبر 2024. وبهذه المناسبة تود اللجنة العلمية للمؤتمر واللجنة الدائمة أن تقدم للمشاركين في هذا المؤتمر والقارئ وكل المؤسسات والهيئات ذات العلاقة بموضوع المؤتمر هذه الحصيلة العلمية والمتمثلة في الدراسات والبحوث التي وصلت في الموعد المحدد والتي استوفت الشروط الخاصة بالمحتوي العلمي والطباعة التي أقرتها اللجنة العلمية، والتي قامت بترتيبها وتبويبها حسب محاور المؤتمر في هذا المجلد، كما تنتهز اللجنة العلمية واللجنة الدائمة للمؤتمر هذه الفرصة لتتوجه بالشكر والتقدير لكافة الأخوة اللذين ساهموا في هذا العمل سواء بأعداد الورقات أو المشاركة أو التحضير لهذا المؤتمر، وكذلك كافة الجهات التي تبنت ودعمت المؤتمر ماديا ومعنويا وأسهمت في اظهار هذا الحدث بالشكل المطلوب، وفي الختام نرجو من الله العلي القدير التوفيق والسداد.

والسلام عليكم ورحمة الله



أ.د. عبد السلام المبروك عكاشة  
رئيس اللجنة العلمية واللجنة الدائمة للمؤتمر

## كلمة رئيس الجامعة

بسم الله الرحمن الرحيم

في إطار دعم وتشجيع المناشط العلمية كالمؤتمرات والندوات، والتي ترى الجامعة أنها إحدى مهامها الرئيسية التي تسعى إلى إرسائها والحفاظ على استمرارها. في هذا الشأن، عقدت الجامعة عددًا من المؤتمرات العلمية التخصصية برعاية الجامعة وتنظيم كلياتها، اليوم يعقد المؤتمر الوطني العاشر لمواد البناء والهندسة الإنشائية، الذي تم استضافته في دورته العاشرة برعاية مؤسستنا. إن هذا المؤتمر يمثل منصة حيوية لتبادل المعرفة والأفكار بين الأكاديميين في مجال الهندسة المدنية، ويسهم في تعزيز الابتكار والتطور في قطاع البناء والتشييد، إن أهميته تتجاوز مجرد عرض الأبحاث والدراسات، فهو يسلط الضوء على التحديات والفرص التي تواجهنا في عالم يتطور بسرعة والتي يشهدها قطاع التشييد والأعمار في وقتنا الحالي. نرى ان هناك حاجة ملحة لتبني تقنيات جديدة ومواد بناء مستدامة تساهم في تحسين جودة الحياة وتعزيز البنية التحتية. لقد شهدت أغلب المدن الليبية، من بينها مدينة سرت في الآونة الأخيرة نهضة شاملة في مشاريع البناء والتطور مما يعكس التزامنا بتحقيق رؤية مستقبلية تتماشى مع المعايير العالمية، ونذكر أيضاً ان الطريق لا يزال طويلاً، لذا فإن الأبحاث والمناقشات التي ستدور خلال هذا المؤتمر سيكون لها تأثيرات كبيرة على تطوير استراتيجيات فعالة تساهم في تحقق أهداف التنمية المستدامة. ختاماً، أتمنى للجميع مؤتمراً ناجحاً وأن تكون النتائج محل تنفيذ وتطبيق للمشاريع المستقبلية.

وففكم الله وسدد خطاكم.

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أ. د. سليمان مفتاح الشاطر

رئيس جامعة سرت

كلمة وكيل الجامعة للشؤون العلمية

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله وكفى، والصلاة والسلام على السيد المصطفى، وآله المستكملين الشرفا... وبعد،

إن الجامعات تعد من المؤسسات البحثية الأولى التي تسهم في عملية التنمية؛ وذلك من خلال توجيه آليات عملها البحثي، نحو الاهتمام بقضايا ترتبط بالتنمية كفاءة باحثيها وحثهم على تقديم بحوث ودراسات تهدف إلى تحسين وتطوير المنشآت المختلفة في الدولة من ناحية وظيفتها وديمومتها.

وفي هذا السياق، فإن من دواعي الغبطة والسرور أن نضع بين أيدي أبناءنا الباحثين والقراء كتاب "المؤتمر الوطني العاشر لمواد البناء والهندسة الإنشائية" بجامعة سرت؛ لما للبناء والإعمار من أهمية في تحقيق التنمية الحضرية المستدامة، حيث يمكن أن يساهم في تحسين جودة الحياة في المدن الليبية واستدامة الموارد البيئية فيها.

وأخيراً: أود أن أشكر لجنتي المؤتمر العلمية والتحضريّة بصفة خاصة، وكلية الهندسة بصفة عامة على دعمهما المستمر ومساندتهما الدائمة للنهوض بهذا الصرح العلمي؛ من خلال تنظيم وإنجاح هذا المؤتمر.

وصلّى الله وسلّم وبارك على نبينا محمد وعلى آله وصحبه ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين.

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أ. د. الطيب محمد القبلي

وكيل الجامعة للشؤون العلمية

## كلمة رئيس المؤتمر

بقلوب مفعمة بالفخر، وعقول متعطشة للإبداع، أقدم لكم النسخة الورقية لكتاب الاوراق العلمية الخاص بالمؤتمر العاشر المواد البناء والهندسة الإنشائية الذي تستضيفه وتنظمه، كلية الهندسة بجامعة سرت. هذا الكتاب ليس مجرد تجميع لأبحاث علمية، بل هو نافذة مشرعة على عالم الابتكار الهندسي، حيث تتلاقى الأفكار الخلاقة مع الخبرات العميقة لتشكل لوحة من الإنجازات التي تدفع بعجلة التطور إلى آفاق جديدة.

ونضع نصب أعيننا التحديات الكبيرة التي تواجه البشرية، من تطور البنى التحتية إلى الحفاظ على استدامة الموارد. ونؤمن بأن الحلول الحقيقية لا تأتي إلا من رحم الهندسة، حيث تلتقي الدقة العلمية مع الرؤية الاستراتيجية، فتولد الحلول التي تغير وجه العالم.

في هذا الكتاب، تجدون خلاصة فكرٍ نيرٍ وجهدٍ دؤوبٍ من نخبةٍ من الباحثين والمبدعين الذين جمعوا بين شغفهم بالعلم والتزامهم تجاه المجتمع. كل ورقة علمية هنا هي لبنة في بناء المستقبل، كل فكرة تضيء طريقاً نحو تحسين حياتنا، وكل تحليل دقيق يُمهّد لحلول مبتكرة تلبي احتياجات الغد.

كما أود أن أعبر عن خالص امتناني لجميع الباحثين الذين بذلوا أوقاتهم وسخّروا إمكانياتهم لإثراء هذا الكتاب، وللجان التنظيمية التي سهرت على إنجاح هذا المؤتمر. إن جهودكم هي الشريان الذي يضخ الحيوية في هذا الحدث العلمي ويُضفي عليه بريقاً يُنير دروب العلم والبحث.

ختاماً، أرجو أن تكون هذه الأوراق العلمية منارةً للباحثين والمهندسين في كل مكان، وأن تُسهم في تشكيل مستقبل هندسي مشرق تُسهم فيه العقول العربية والعالمية في بناء غدٍ أفضل للبشرية.

د. أحمد مفتاح صالح الحسوني

رئيس المؤتمر

## لجان المؤتمر

## اللجنة العليا

ر.م	الاسم	الصفة	الجامعة
1.	د. سليمان مفتاح الشاطر	مشرفاً	
2.	د. أحمد مفتاح صالح	رئيساً	سرت
3.	د. علي كركره علي	عضواً	

## اللجنة العلمية

ر.م	الاسم	الصفة	الجامعة
1.	أ.د. عبد السلام المبروك عكاشة	رئيس اللجنة	وادي الشاطئ
2.	د. محمد علي عبدالله الصغير	مقرر اللجنة	سرت
3.	أ.د. حسن محمد الصقري	عضواً	صبراتة
4.	أ.د. بشير علي خليفة	عضواً	الأكاديمية الليبية
5.	أ.د. عمر رمضان الزروق	عضواً	عمر المختار
6.	أ.د. محمد علي خليفة	عضواً	طرابلس
7.	أ.د. غصن محمد الكفري	عضواً	سرت
8.	أ.د. الصادق أعبيد عبد الله	عضواً	طرابلس
9.	أ.د. مختار معمر أبوراوي	عضواً	المرقب
10.	أ.د. محمد أحمد شاهين	عضواً	مصراتة
11.	أ.د. إبراهيم محمد الحاج	عضواً	بني وليد
12.	د. أشرف حامد محمد	عضواً	بنغازي
13.	د. أسماء عبد الخالق بدر	عضواً	طبرق
14.	د. محمد الولي عبد القادر	عضواً	سبها
15.	د. رحمة فرج أحسون	عضواً	سرت
16.	د. عزالدين السنوسي العطشان	عضواً	الجفرة

## اللجنة التحضيرية

ر.م	الاسم	الصفة	الجامعة
1.	أ. عياد عبد المولى محمد	رئيس اللجنة	سرت
2.	أ. فوزية عمر الغنאי	عضواً	سرت
3.	أ. عبد المجيد محمد سالم	عضواً	سرت
4.	أ. مصطفى المهدي أبو غرسة	عضواً	سرت
5.	أ. سالم محمد إشتيوي	عضواً	سرت
6.	أ. أحمد محمد هدية	عضواً	سرت
7.	أ. عبد القادر بلقاسم الزعبي	عضواً	سرت
8.	أ.د. أحمد محمد القاضي	عضواً	طرابلس
9.	د. عزالدين السنوسي العطشان	عضواً	الجفرة

## اعداد مجلد الأبحاث وتنظيم الورقات العلمية

ر.م	الاسم	الصفة	الجامعة
1.	د. محمد على عبدالله الصغير	مقرر اللجنة العلمية	سرت

## اللجنة الدائمة

ر.م	الاسم	الصفة	الجامعة
1.	أ.د. عبد السلام المبروك عكاشة	رئيس اللجنة	وادي الشاطئ
2.	أ.د. مصطفى محمد الطويل	عضواً	طرابلس
3.	أ.د. على سالم أنقاب	عضواً	طرابلس
4.	أ.د. المبروك عبد القادر السنوسي	عضواً	طرابلس
5.	أ.د. مختار معمر أبوراوي	عضواً	المرقب
6.	أ.د. محمد امحمد شاهين	عضواً	مصراتة
7.	أ.د. مسعود أرجومة حركات	عضواً	صبراتة
8.	أ.د. ميلود عجيلي الغبار	عضواً	اكاديمية الدراسات العليا
9.	أ.د. عمر رمضان الزروق	عضواً	عمر المختار
10.	أ.د. إبراهيم محمد الحاج	عضواً	بني وليد

## المقيمين والمراجعون المتعاونون مع اللجنة العلمية

الجامعة	الاسم	ر.م
طرابلس	أ.د. مصطفى محمد الطويل	1.
طرابلس	أ.د. علي سالم أنقاب	2.
جامعة الشاطئ	أ.د. عبدالسلام المبروك عكاشة	3.
عمر المختار	أ.د. عمر رمضان الزروق عمر	4.
بني وليد	أ.د. إبراهيم محمد الفقهي	5.
مصراتة	أ.د. محمد احمد شاهين	6.
المرقب	أ.د. مختار معمر أبوراوي	7.
وادي الشاطئ	أ.د. فؤاد فرج فروج	8.
سرت	أ.د. غصن محمد الكفري	9.
أكاديمية الدراسات	أ.د. بشير علي خليفه	10.
طرابلس	أ.د. أحمد محمد القاضي	11.
صبراتة	أ.د. حسن عبد الله صقر	12.
الجفرة	أ.د. فرحات غريبي فرحات	13.
طرابلس	أ.د. الصادق عبيد عبد الله	14.
طرابلس	أ.د. محمد خليفه علي	15.
طرابلس	أ.د. محمد عمران أمبارك	16.
صبراتة	أ.د. نوري محمد الباشا	17.
وادي الشاطئ	أ.د. مسعود فرج ابوكليش	18.
سرت	د. محمد علي عبدالله الصغير	19.
عمر المختار	د. محمد عبدالفتاح صالح محمد	20.
عمر المختار	د. هناء عبدالفتاح صالح محمد	21.
بنغازي	د. أشرف حامد محمد	22.
الجفرة	د. عز الدين السنوسي العطشان	23.
المرقب	د. محمد إبراهيم العبود	24.
بني وليد	د. ناجي امحمد صالح	25.
صبراتة	د. محمد العربي المحروق	26.
طرابلس	د. الهادي فرج ابوسيف	27.
طرابلس	د. امل محمد الخوجة	28.
خليج السدرة	د. منير محمد محجوب التمامي	29.
سرت	د. رحمة فرج حسون	30.
الجفرة	د. فيصل عبد اللطيف العطشان	31.
سبها	د. ابراهيم علي خليفة غرغار	32.
عمر المختار	د. امال عبدالعاطي موسى اللافي	33.
سبها	د. عثمان أبوبكر عثمان القاضي	34.
طبرق	د. أسماء عبدالخالق بدر	35.

# المحور الأول

## أستخدام مواد البناء وتقنياتها في أعمال البناء والتشييد

## دراسة مقارنة جودة الطوب الاسمنتي المفرغ ببلدية الزاوية

1. إيمان عبدالحميد الترهوني\*<sup>1</sup>، م. أحمد القاضي<sup>2</sup>

1 محاضر، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة الزاوية، جامعة الزاوية، ليبيا

2 قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة الزاوية، جامعة الزاوية، ليبيا

e.attarhoni@zu.edu.ly

## الملخص

يهتم البحث بدراسة مقارنة بين خواص منتجات مصانع الطوب الاسمنتي المفرغ مقاس (200\*200\*400) ملم، كإسهام في توفير قاعدة بيانات وتحفيز للقطاع الخاص على تحسين الانتاج، واتباع ضوابط الجودة. مستهدف عدد سبعة مصانع بمدينة الزاوية وهي: (A,B,C,D,E,F,G) كعينة للدراسة، مبتدئاً بالبحث في المواد المستخدمة مروراً بآلية الصنع انتهاءً بفحص عينات جاهزة للتسويق، من كل مصنع عدد 15 وحدة بنائية لفحص سلامة الشكل والابعاد، وعدد 5 وحدات لأجراء اختبار مقاومة الضغط ومثلها لمعرفة قابلية الامتصاص للماء وفق المواصفات القياسية الليبية رقم 47 لسنة 2020. أدلت النتائج بوجود تباين كبير في انتظام الشكل واستوائه بين المصانع الالية والنصف الية، وسمك غير مطابق للمواصفات لجميع المصانع، في حين كانت جميع العينات ذات قابلية امتصاص جيدة بنسبة أقل من 7%. بالرغم أن جميع المصانع تستهدف انتاج طوب حامل؛ الا أن نتائج اختبار مقاومة الضغط بينت انه جميع العينات لا تفيء بحدود المواصفات الدنيا للطوب الاسمنتي للحوائط الغير حاملة بمقاومة رديئة اقل من 2.5MPa ما عدا منتج المصنع (A) كان مطابق للمواصفات القياسية الليبية بمقاومة ضغط (7MPa).

الكلمات الدالة: الطوب الاسمنتي، انتاجه، الشكل والابعاد، مقاومة الضغط، قابلية الامتصاص.

## المقدمة:

لقد حظي قطاع البناء والتشييد مواكبة سريعة من قبل القطاع الخاص والعام؛ لما له من دور فعال في تأسيس البنية الاساسية لكافة المرافق المدنية. تعد صناعة الطوب الأسمنتي أحد روافد هذا القطاع ومن أكبر الصناعات التي تعتمد عليها شركات المقاولات والهيئات الكبرى المسؤولة عن تشييد وانشاء مشروعات الاعمار بأحجامها المختلفة. فهو من المواد الأكثر استعمال؛ ذلك لتوفر مواده الاولية وسهولة تصنيعه، وعدم تطلبه مهارات عالية في التصنيع والبناء، كذلك تعدد احجامه واستخداماته في الحوائط الحاملة والغير حاملة والاسقف؛ مما أدى لزيادة في عدد المصانع لتغطية متطلبات السوق، وعليه فإن متابعة جودة تصنيعه تعتبر أمر ضروريا.

إن ضبط جودة أي منتج هي مجموعة من الاجراءات التي لها صلة بتحديد الخواص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية المميزة للمنتج، الاساليب والطرق التي تقدم كوسيلة للقياس والتحكم مسبقا في مراحل التصنيع. اجريت العديد من الدراسات التي تناولت جودة صناعة طوب البناء ومقارنة خصائصه.

ركزت الدراسة [1] على جودة صناعة الطوب الاسمنتي بمدينة الرياض مستهدفة 42 مصنعاً معظم البلوك من النوع غير الحامل المستخدم في بناء الحوائط الداخلية والخارجية في المباني. تم فيها أخذ عينات عشوائية من البلوك المنتج من كل مصنع. لمدة ثلاث سنوات. تم قياس الأبعاد واختبار مقاومة الضغط، إمتصاص الماء ومقارنة النتائج بمتطلبات المواصفات السعودية والأمريكية. ادلت النتائج أن جميع المصانع تحقق متطلبات المواصفات الخاصة بمقاومة الضغط وامتصاص الماء وفيما توجد نسبة مرتفعة نسبياً من العينات لا تحقق اشتراطات التفاوت المسموح به لأبعاد البلوك وأغلبه في الارتفاع.

فيما اختص البحث [6] في فحص ومقارنة الخواص الميكانيكية وتحسين العزل الحراري للطوب الاسمنتي المجوفة ب استخدام ثلاثة أنواع مختلفة من الركام: الحيرية والنيس والبازلت.. كذلك عنيت الدراسة [2] بالمقارنة بين جودة طوب البناء من حيث العزل الحراري وتوفير الطاقة. تم المقارنة بين الأنواع الشائعة محليا الحجر الجيري وطوب الأجر المتقب والطوب الاسمنتي باستخدام برنامج HAP 9.4. بينت أن طوب الأجر هو الأفضل من بينها من ناحية العزل الحراري.

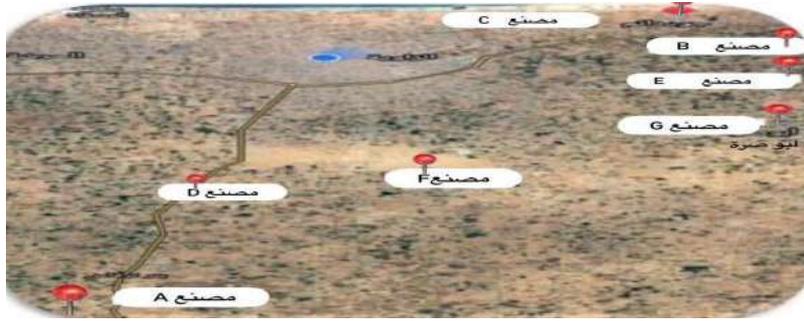
بالرغم من توفر المواصفات الخاصة بالطوب الاسمنتي من قبل مركز المعايير والمواصفات القياسية بليبيا [4] [3] ؛ إلا أن معظم المصانع لا تعتمد اختبار منتجاتها ولا اصدار كتيب مواصفات لها. ومع الوضع الراهن للدولة الليبية واستشراء الفساد وانتشاره مع إدماج العمالة الغير مؤهلة بقطاع صناعة الطوب والتفاوت الملحوظ، في الاسعار؛ جاءت فكرة البحث في دراسة مقارنة خواص منتجات الطوب الاسمنتي المفرغ مقاس 200\*200\*400 ملم المصنع بمدينة الزاوية كخطوة نحو نماء اقتصادي أمثل وضبط جودة المنتج المحلي.

## 1. منهجية العمل

تتهج الدراسة جانب مكتبي واخر ميداني عملي يتمثل في جانب البحث والتقصي على نوع المصانع الموجود بالمنطقة، جمع العينات المطلوبة وإجراء الاختبارات اللازمة لمعرفة مدى مطابقتها للمواصفات القياسية.

### 1.1 البحث وجمع البيانات

يوجد بمدينة الزاوية ما يقارب من 30 مصنع لإنتاج الطوب الاسمنتي، تمت زيارة عدد منها للتعرف على حيثيات المصانع ونوعها والاطلاع على آلية التصنيع من مرحلة التوريد للمواد الخام الى جاهزية التوزيع، تم اختيار مصانع على رقعة جغرافية مختلفة (جود دائم، ترفاس، بئر معمر، السيدة زينب، العريوي) كما موضحة بالشكل (1) منها مصنعان آليان (A، B) ومصانع نصف آلية (G-F-E-D-C).



الشكل (1): التوزيع الجغرافي للمصانع هدف الدراسة

### 2.1. عينات الدراسة

تم اخذ عينات الطوب الاسمنتي المفرغ مقاس (400×200×200) ملم الجاهزة للتوزيع عن كل مصنع بعدد 15 طوبة لفحص الأبعاد والشكل، عدد 5 وحدات بناء لدراسة خاصة مقاومة الضغط ومثلها لدراسة قابلية الامتصاص للماء. جميع عينات الدراسة بعمر 28 يوم مكونة من خلط إسمنت إلى ركام بنسبة 3:1 موردة من مصادر مختلفة

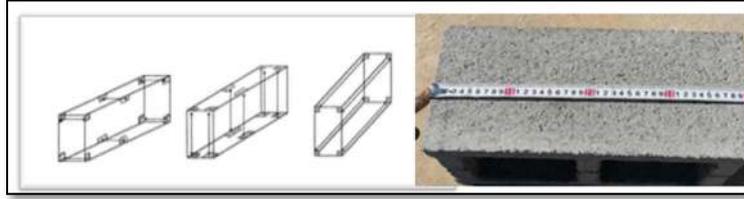
- المصانع (E-C-B-A) تورد ركام وادي الحي بينما باقي المصانع تورد ركام رأس اللفع
- المصنعان (D-A) استخدمتا اسمنت الاتحاد الليبي في حين استخدمت اسمنت فيض التونسي في المصانع (B-F) وإسمنت سوق الخميس في المصانع ان (C-E-G).

### 3.1. اختبارات الطوب

تجرى الاختبارات المعملية وفق المواصفات القياسية الليبية م ق ل 48 الخاصة بالطرق القياسية لاختبارات طوب البناء بأنواعه [2]. وأهمها:

#### 1.3.1. قياس الأبعاد (Test of Dimensions)

يتم الفحص البصري لشكل الوحدة البنائية حيث يجب أن يكون الطوب ذا شكل منتظم وان تكون زواياه مستقيمة ومستوية خالية من التشققات والعيوب. ويجرى اختبار قياس الأبعاد بواقع خمسة طويات على الأقل تقاس ابعاد كل طوبة على حدى كما بالشكل (2) باستخدام شريط معدني مقرب لأقرب ملليمتر ومنه يحدد متوسط البعد لكل من الطول والعرض والارتفاع للطوب.



الشكل (2): كيفية قياس الابعاد

### 2.3.1 اختبار قابلية امتصاص الماء (Water Absorption Test)

يجرى الاختبار وفق طرق الاختبار القياسية لوحدات البناء الخرسانية، مستخدم الأجهزة الموضح بالشكل (3) وتحسب نسبة الامتصاص كما يلي:



الشكل (3): الأجهزة المستخدمة في اختبار نسبة الامتصاص

$$\text{النسبة المئوية للامتصاص} = \frac{\text{وزن العينة مشبعة} - \text{وزن العينة جافة}}{\text{وزن العينة جافة}} \times 100 \dots \text{المعادلة (1)}$$

### 3.3.1 اختبار مقاومة الضغط (Compressive strength test)

يهدف الاختبار لتحديد مقاومة الضغط للطوب باستخدام جهاز الاختبار الموضحة بالشكل (4)، حيث تملأ الفراغات ويغطى الوجه بمادة لضمان توزيع الأحمال عند الاختبار، يسلط الحمل بضغط محوري منتظم على العينة تزايدياً إلى أن يحدث الكسر وتسجل قيمة الحمل الأقصى كما يوضح الجدول (1) حدود المواصفة القياسية الليبية لمقاومة الضغط للطوب.



الشكل (4): ماكينة الضغط

وتحسب مقاومة الضغط من المعادلة التالية:

$$\text{مقاومة الضغط} = \text{حمل الكسر} / \text{مساحة السطح المعرض للضغط} \dots\dots\dots \text{المعادلة (2)}$$

جدول (1) حدود المواصفة القياسية الليبية لمقاومة الضغط للطوب

MPA الحد الأدنى لمقاومة الانضغاط		نوع الطوب	
للطوبية الواحدة	متوسط 5 طوبيات	حوائط حاملة	طوب خرساني مجوف
5.7	7	حوائط غير حاملة	
2.1	2.5	حوائط حاملة	

## 2 - النتائج والمناقشة

يتم مطابقة النتائج مع المواصفة الليبية للطوب الاسمنتي م م ق ل 47 - 1: 2020 [3].

### 1.2 فحص الشكل والابعاد

#### 1.1.2 فحص الشكل

من خلال الفحص البصري يعد الطوب المنتج من المصانع (A - B - E - F) جيد ذو شكل منتظم وزوايا خالية من التشققات اما الطوب المنتج بمصنع (C - D - G) كان غير منتظم وزواياه غير مستوية كما يبين الشكل (5).



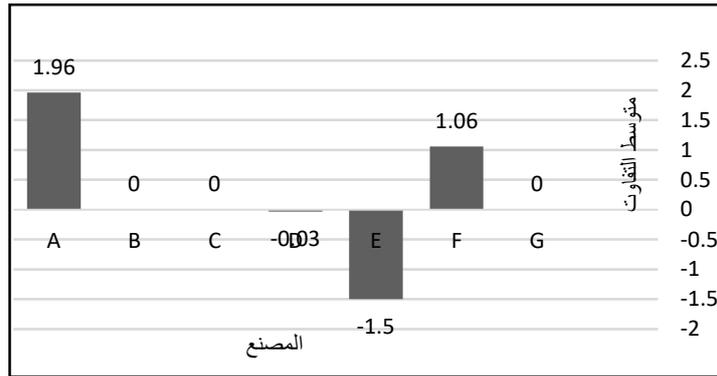
الشكل (5): شكل الطوب المنتج من المصانع

### 2.1.2. فحص الابعاد

طبقاً لحدود المواصفة الليبية م م ق ل 47 - 1: 2020 يجب ان لا يزيد التفاوت المسموح به في الابعاد (طول، العرض، الارتفاع) عن  $\pm 4$  من الابعاد الفعلية وأن يكون السمك الخارجي 30 ملم وعليه يتضح ما يلي:

## 1. قياس الطول

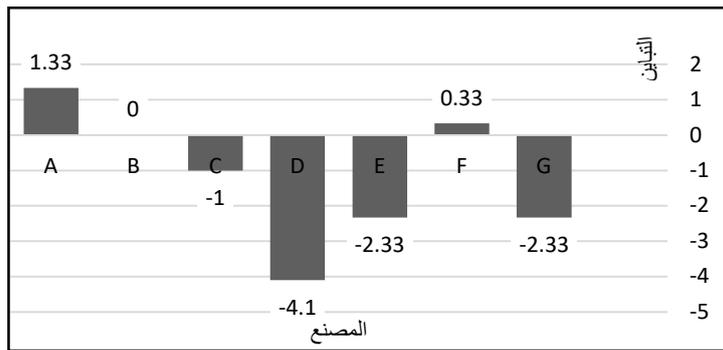
على صعيد الوحدة الواحدة نجد مطابقة غالبية العينات للمواصفات القياسية الليبية الا عدد قليل يتجاوز (+5 ملم)، أما عن متوسط التباين في قياس (الطول) لعينات الوحدات البنائية والذي يتراوح بين (-1.5، +1.96) وهو ضمن حدود المواصفات كما موضح بالشكل (6) وتعد المصانع (B-C-G) أفضلهم بطول قياسي.



الشكل (6): متوسط التفاوت في الطول

## ب. قياس العرض

يوضح الشكل (7) متوسط التفاوت في قياس العرض للعينات من جميع المصانع والذي يبين أن أفضل المصانع مصنع B لمطابقة قياساته الفعلية للأبعاد القياسية، وتعد جميعها في حدود المواصفات ماعدا المصنع (D) غير مطابق للمواصفات بتفاوت (-4.1).



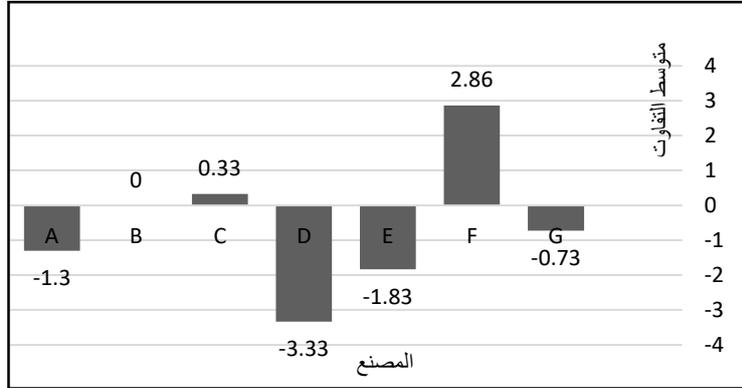
الشكل (7): متوسط التفاوت بالعرض

## ج. قياس السمك الخارجي

ان سمك وحدة البناء بجميع المصانع غير مطابق للمواصفات القياسية الليبية بتفاوت (-2) بالمصنع B وتفاوت (-7) بباقي المصانع.

## د. قياس الارتفاع

يوضح الشكل (8) ان الطوب المنتج بالمصانع مطابق للمواصفات بالنسبة للارتفاع ويعد مصنع (B) أكثر دقة.



الشكل (8): متوسط التفاوت بالارتفاع

## 2.2 الكثافة (Density)

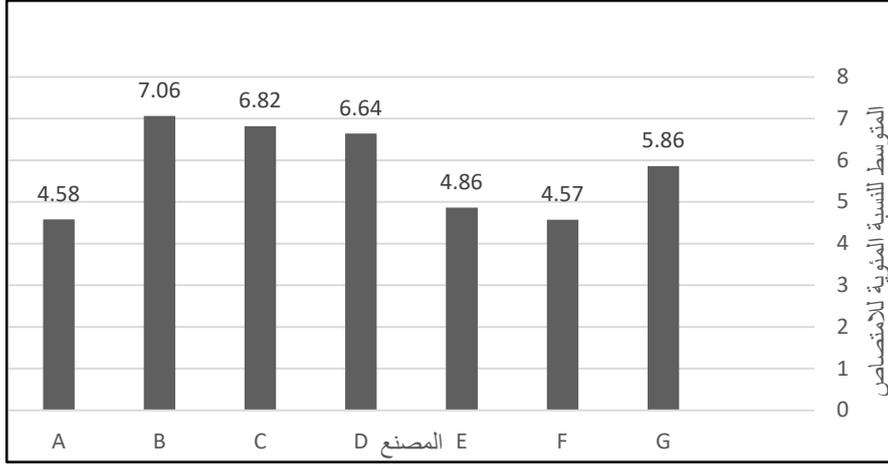
يصنف الطوب من النوع الحامل للحوائط حيث تتجاوز متوسط كثافته 2000 كجم/م<sup>3</sup>، والجدول (2) يبين متوسط الكثافة لعدد 5 وحدات بناء من الطوب.

جدول (2): كثافة الطوب الاسمنتي المفرغ

المصنع	A	B	C	D	E	F	G
كثافة الطوب Kg/m <sup>3</sup>	3445	3325	2433	2410	2548	2725	2392

## 2.3 اختبار امتصاص الماء (Water absorption test)

بالنظر للشكل (9) نلاحظ ان نسبة الامتصاص لجميع العينات ممتازة ومطابقة لحدود المواصفات الليبية ولا تفوق 13%.



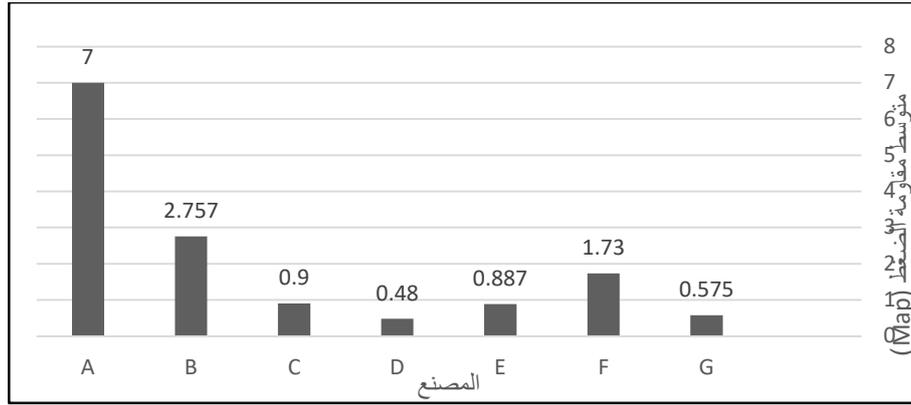
شكل (9): نسبة امتصاص الماء لجميع المصانع

## 4.2 اختبار مقاومة الضغط

يعد هذا الاختبار هام جداً في تحديد قبول ورفض المنتج بعد سلامة الشكل وصحة الأبعاد، وتم لجميع العينات بظروف اختبار واحدة وكانت نتائج الاختبار كما موضحة بالشكل (10). يعد فقط الطوب المنتج بالمصنع (A) مطابق للمواصفات الليبية وان باقي منتجات المصانع غير مطابقة للمواصفات الليبية بمقاومة ضغط ضعيفة جداً.

يتضح ان انتاج المصنع (B) ذو ابعاد قياسية (طول وعرض وارتفاع) أكثر دقة من مصنع (A)، ومقارب له بالكثافة؛ إلا أنه هناك فرق شاسع بمقاومة الضغط بينهم. وربما يرجع هذا لاختلاف المادة الخام أو نسبة الماء المستخدم او مفارقات في مرحلة التصنيع تؤثر جميعها على خواص وجودة المنتج.

كما أن جميع المصانع (C,D,E,F,G) كانت بكثافة جيدة ولكن مقاومة ضغط لا تفي بالاستخدام حتى في الحوائط الغير حاملة مما يشير الى خلل ما في مرحلة التصنيع.



شكل (10): متوسط مقاومة الضغط للطوب لمختلف المصانع

### 3. الاستنتاجات.

من خلال تحليل النتائج نستنتج ما يلي:

- (1) يتضح فارق انتاج المصانع الالية على المصانع اليدوية من حيث انتظام الشكل خلوه من التشققات والطاقة الانتاجية.
- (2) جميع الطوب المنتج بالمصانع ذو ابعاد (طول، عرض، ارتفاع) مطابق للمواصفات القياسية الليبية ماعدا المصنع (D). كما أن جميع المصانع لا تلتزم بتطبيق حدود المواصفات القياسية الليبية في قياس السمك الخارجي للطوب.
- (3) تمتاز جميع عينات الطوب بنسبة امتصاص للماء جيدة تتراوح من 4.58% الى 6.82% ومطابقة للمواصفات القياسية الليبية.
- (4) يبرز اختبار مقاومة الضغط أن انتاج مصنع واحد فقط مطابق للمواصفات القياسية الليبية وهو المصنع (A) أما انتاج المصانع (B,C,D,E,F,G) غير مطابق للمواصفات القياسية الليبية بمقاومة ضغط ضعيفة جدا.

### 4. الخاتمة

يفتقر قطاع صناعة مواد البناء لمراقبة الجودة؛ حيث لا تهتم المصانع بفحص المواد الأولية والتأكد من مدى مطابقتها للمواصفات الهندسية، كما لا يتم فحص جودة المنتج ولا يوجد كتيب بيانات ايضاحية للمنتج، علاوة على اختلاف واضح بالأسعار بين المصانع. إذ يعتبر نظام الحوائط الغير حاملة هو النظام السائد والغالب في ربوع البلاد الا أن مصانع الطوب عينة الدراسة تستعمل نسب خلط إنتاج طوب من النوع الحوائط الحاملة مستهلكة في ذلك كم إضافي من المواد، ناهيك عن أنها لا تصل بمننتوجها إلى المعايير الهندسية المطلوبة، مما يؤثر سلبا على سلامة المنشآت وديمومتها ويزيد النظام الاقتصادي سوء بشكل عام وللمستخدم بشكل خاص حيث يتكلف المستهلك تكلفة المنتج اولا وتكلفة رداءته لاحقا.

## 5. التوصيات:

من خلال نتائج البحث نوصي بالتالي:

1. على الجهات المختصة تفعيل رقابة مستمرة على مصانع الطوب الاسمنتي مع الزامهم بالموصفات وعمل الاختبارات اللازمة للمواد الاولية.
2. توعية القطاع الخاص بأهمية اختبار المنتج واعداد كتيب توضيحي لمواصفات المنتج الخاص به.
3. ان تشمل دراسات مستقبلية عدد أكثر من المصانع في المنطقة وعلى فترات متكررة لمدة زمنية طويلة لكل مصنع.
4. عمل دراسات لفحص خواص الانكماش ومقاومة الحريق للطوب الاسمنتي.

## قائمة المراجع:

1. عبدالرحمن الحزيمي، عبدالسلام الشقير -خصائص جودة البلوك الإسمنتي المصنع في مدينة الرياض، المؤتمر الهندسي السعودي السادس - جامعة الملك فهد للبترول والمعادن - الظهران - شوال 2001 م.
2. مقارنة بين جودة طوب البناء من حيث العزل الحراري وتوفير الطاقة باستخدام برنامج HAP4 L 9مجلة الاكاديمية للبحوث 232-247 (2019) المعهد العالي للعلوم والتقنية، تزهونة، ليبيا.
3. المواصفات القياسية الليبية م ق ل 48-1-2020م
4. المواصفات القياسية الليبية لحدود المواصفة 47-1-2020م
5. م/ شريف الشافعي، خصائص واستخدامات مواد البناء، دار الكتاب العلمية للنشر والتوزيع 2012م.
6. Emilio Sassine1 · Yassine Cherif2, Investigation of the mechanical and thermal performances of concrete hollow blocks · SN Applied Sciences (2020).
7. American Society for Testing and Materials, "Standard Specification for Non- Load Bearing Concrete Masonry Units", ASTM C 129-92.
8. American Society for Testing and Materials, "Standard Methods of Sampling and Testing Concrete Masonry Units", ASTM C 140-91.
9. American Society for Testing and Materials, "Standard Specification for Load bearing Concrete Masonry Units", ASTM C 90-92b.

## استخدام البوزولانا الطبيعية كبديل جزئي للإسمنت في صناعة المونة الإسمنتية

أ. د. فؤاد فروج فرج<sup>1</sup>، أ. رضاء الطاهر البخاري<sup>2</sup>

1 أستاذ دكتور، بقسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، ليبيا

2 أستاذ باحث. بقسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، ليبيا

r.albokary@wau.edu.ly\*

## المخلص

يتجه العالم إلى تطوير مواد البناء وتقنيات تصنيعها وتحسين خصائصها باستغلال المواد الخام المتاحة لنا لتوفير مواصفات جيدة للخرسانة وذلك باستخدام هذه المواد كمواد مستبدلة لصناعة الإسمنت المخلوط لضمان الاستدامة، وذلك باستغلال الخامات المتواجدة بالطبيعة والتي نستطيع استغلاله بشكل جيد وغير ملوث للبيئة لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتوفير الطاقة حيث إن صناعة واحد طن من الإسمنت البورتلاندي العادي تعمل علي انبعاث واحد طن من غاز ثاني أكسيد الكربون، من أهم تلك المواد الخام المتواجدة في الجنوب الليبي والتي يجب استغلاله بشكل جيد وإدخاله في صناعة الإسمنت والاستفادة منها هندسياً وبيئياً هي مادة البوزولانا الطبيعية، وقد أثبتت العديد من الأبحاث العلمية أن التركيب الكيميائي لتلك الرواسب الطينية مطابق لمواصفات (ASTM 3) - 618 ويمكن تصنيفها كمواد بوزلانية جيدة، إذ تهدف هذه الورقة إلي دراسة جدوا وفعالية استخدام البوزولانا الطبيعية بجنوب ليبيا كمواد مستبدلة من الإسمنت لصناعة مونة إسمنتية ذات خصائص ميكانيكية عالية، استجلبت البوزولانا الطبيعية المحلية والمستخرجة من موقعين سبها وتمهنت وحرقت لمدة ساعتان بدرجة حرارة (800) ثم طحنها لتصل إلي نعومة تسمح لها المرور من منخل 90 ميكرون، ثم تصميم 7 خلطات مونة إسمنتية باستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي مع إضافة البوزولانا المحلية له كبديل جزئي للإسمنت (0% - 10% - 15% - 20%) من وزن الإسمنت و خلطة واحدة من الإسمنت البورتلاندي البوزولاني وإجراء اختبار مقاومة الضغط - اختبار تحديد نسبة الامتصاص - اختبار تحديد نسبة الانسيابية، بحيث أشارت كل النتائج بإمكانية استخدام الميكاكولين المحلية كبديل جزئي للإسمنت لإنتاج إسمنت بورتلاندي بوزلاني وذلك بالمقارنة مع نتائج الإسمنت البورتلاندي البوزولاني المستورد، حيث كانت الفروق في النتائج قليلة جداً ولم تصل إلي 5% باستخدام نسبة استبدال (20% MK) في حين كان الفرق بين نتائج مقاومة الضغط باستخدام PPC أعلى من نتائج OPC بنسبة (30%).

الكلمات المفتاحية: الرواسب الطينية، الميكاكولين، الإسمنت البوزولاني، المونة الإسمنتية، مقاومة الضغط.

## 1. المقدمة

يزداد الطلب على الإسمنت البورتلاندي العادي يوماً بعد يوم لكونه العنصر الأساسي في الخرسانة والمونة الإسمنتية، إلا أن صناعة هذا النوع من الإسمنت أحد الأسباب الرئيسية لانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي [2]، مما يجعل البحث والحصول على بدائل للإسمنت من أولى الاهتمامات التي يجب التركيز عليها لضمان الاستدامة، وفي السنوات الاخيرة قام المهتمون بالخرسانة بمحاولات عديدة بإيجاد بدائل تقلل من استخدام الإسمنت، وذلك بطرق علمية واقتصادية، باستغلال الموارد الطبيعية والمحلية المتوفرة لدينا، كالمواد البوزلانية (Pozzolana Materials) في تحسين الخرسانة في جميع حالاتها والتقليل من استهلاك الإسمنت [1] [5]،

حيث تتوفر هذه المواد البوزلانية بكميات كبيرة في مناطق الجنوب الليبي سبها - تمنهنت - وادي الشاطي ، ومن أهم هذه البحوث والدراسات الدراسة التي قام به مركز البحوث الصناعية علي الرواسب المعدنية في المنطقة الجنوبية وقد أشارت إلى وجود العديد من الخامات الأولية الطبيعية التي تدخل في صناعة الإسمنت ومن أهم تلك الخامات الطبيعية هي البوزلانا الطبيعية (NP) ومطابقتها لمواصفات (ASTM 618-3) [6] [10]، و لا تحتاج إلي تقنيات أو تكنولوجيا عالية لإنتاجها، ويعود استخدام هذه المادة البوزلانية في البناء إلى عصور ما قبل التاريخ.

يمكن تعريف هذه المواد البوزلانية علي أنها خامات من أكاسيد السيليكا  $Si O_2$  أو أكاسيد الألومينا  $Al_2 O_3$  أو خليط من كليهما لا تتفاعل مع الماء بشكل مباشر ، إنما تتفاعل مع هيدروكسيد الكلسيوم  $Ca (OH)_2$  الناتج من تفاعل الإسمنت مع الماء لتكون مادة رابطة غير قابلة للذوبان من سيليكات الكلسيوم المائية (C S H) أو الومينات الكلسيوم المائية (A H C) لما له من خواص المواد الإسمنتية التي تعمل علي زيادة المتانة وتقليل المسامية و بالتالي زيادة المقاومة وتحسين النفاذية [3] [9].

وللحصول على ميتاكاولين تفاعلي يتم تكليس طين الكاولين بدرجات حرارة تتراوح بين 700 - 800 درجة مئوية و لمدة ساعتين [10] [6].

### 1.1 خصائص ومميزات الإسمنت البوزلاني

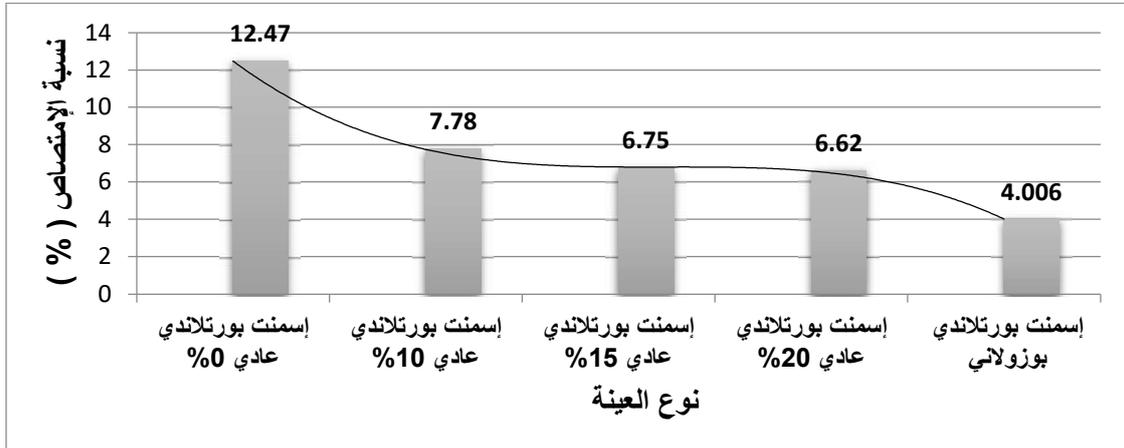
- 1- يقلل من حرارة الإماهة الناتجة عن تفاعل مادة  $C_3S$  لذلك فهو الخيار الأفضل للخرسانة الكتلية خاصة في المناطق الحارة.
- 2- الخرسانة المنتجة باستخدام PPC أكثر تماسكاً ويمكن ضخها بسهولة.
- 3- المتانة العالية والتي تجعل الخرسانة أكثر مقاومة لهجوم أملاح الكلوريدات والكبريتات والأحماض والمواد الكيميائية الضارة.
- 4- العزل الحراري الجيد مما يساهم في التقليل من استهلاك الطاقة الكهربائية.
- 5- إسمنت صديق للبيئة حيث تستخدم المنتجات الثانوية في تصنيعه مما يساهم في تحقيق مبدأ الاستدامة [8] [11].

### 2.1 منهجية الدراسة

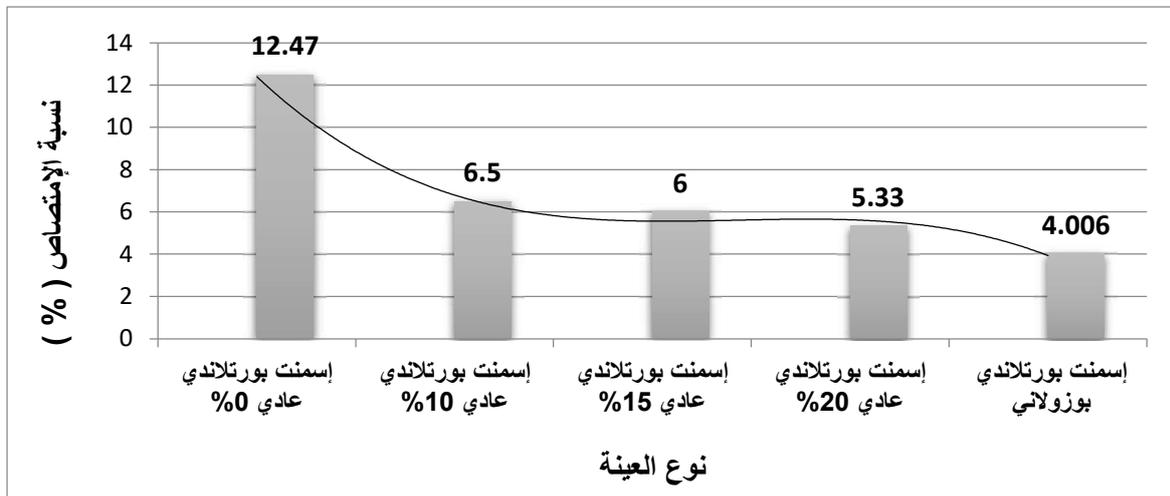
- 1- في هذه المرحلة تم التركيز على جمع المعلومات الكافية والحديثة، حول موضوع الدراسة من خلال البحث والاطلاع على الدراسات السابقة، من أبحاث ورسائل وأوراق علمية منشورة، حول استخدام المواد البوزلانية كبديل جزئي للإسمنت، ومراحل تطور استخدامها في صناعة المونة الإسمنتية والخرسانة عبر التاريخ.
- 2- تم في هذه المرحلة وضع البرنامج العملي، والذي تم فيه تحديد وتجميع المواد الأولية المستخدمة واعتمادها وتجهزها وفقاً للكميات المطلوبة، ودراسة مواصفاتها، ثم تصميم 8 خلطات مونة إسمنتية باستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي (OPC)، وبنسب خلط ثابتة (1 رمل : 3 إسمنت) وبنسبة  $W / C \% 0.48$  حسب مواصفة ASTM ، في جميع الخلطات مع إضافة البوزلانا المحلية من موقعي سبها و تمنهنت كبديل جزئي للإسمنت، بنسب متفاوتة (0% - 10% - 15% - 20%) و خلطة واحدة من الإسمنت البورتلاندي البوزلاني (PPC) ودراسة خواصه في حالته اللدنة والصلبة وتدوين النتائج وفق الفترات الزمنية المحددة للاختبار و تحديد مدى إمكانية استخدام البوزلانا المحلية كبديل جزئي للإسمنت وذلك بالمقارنة مع نتائج الإسمنت البوزلاني (PPC).

## 3.1 النتائج

## 1.3.1 نتائج اختبار تحديد نسبة الامتصاص للماء

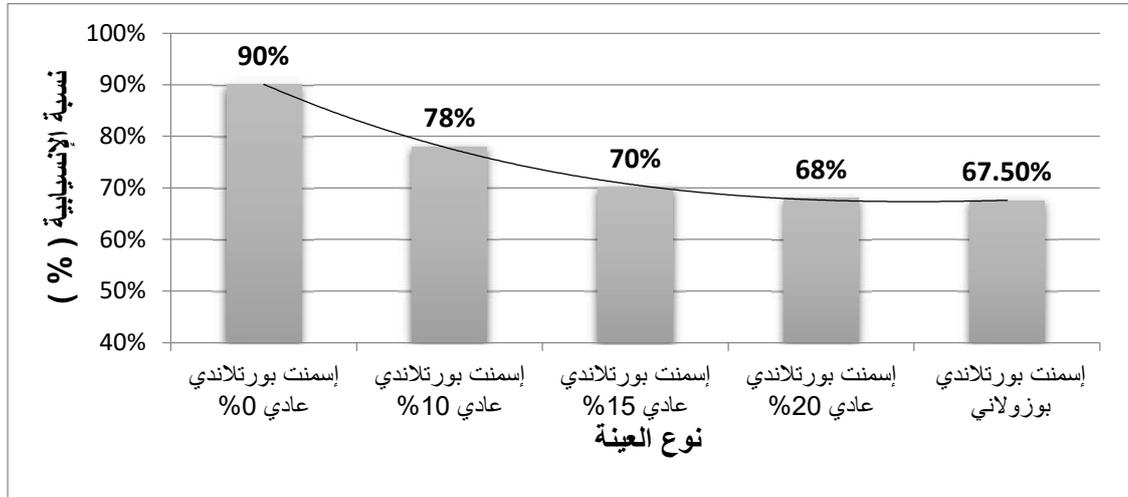


شكل رقم (1) يبين نتائج اختبار تحديد نسبة الامتصاص للماء بإضافة ميتاكاولين موقع سبها.

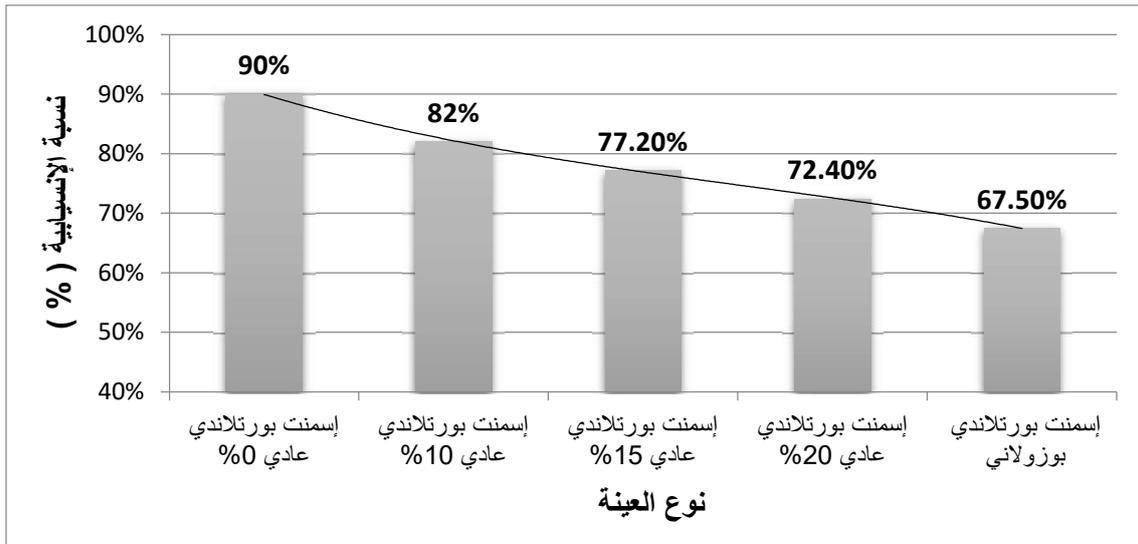


شكل رقم (2) يبين نتائج اختبار تحديد نسبة الامتصاص للماء بإضافة ميتاكاولين موقع تمنهنت.

## 2.3.1 نتائج اختبار الانسيابية

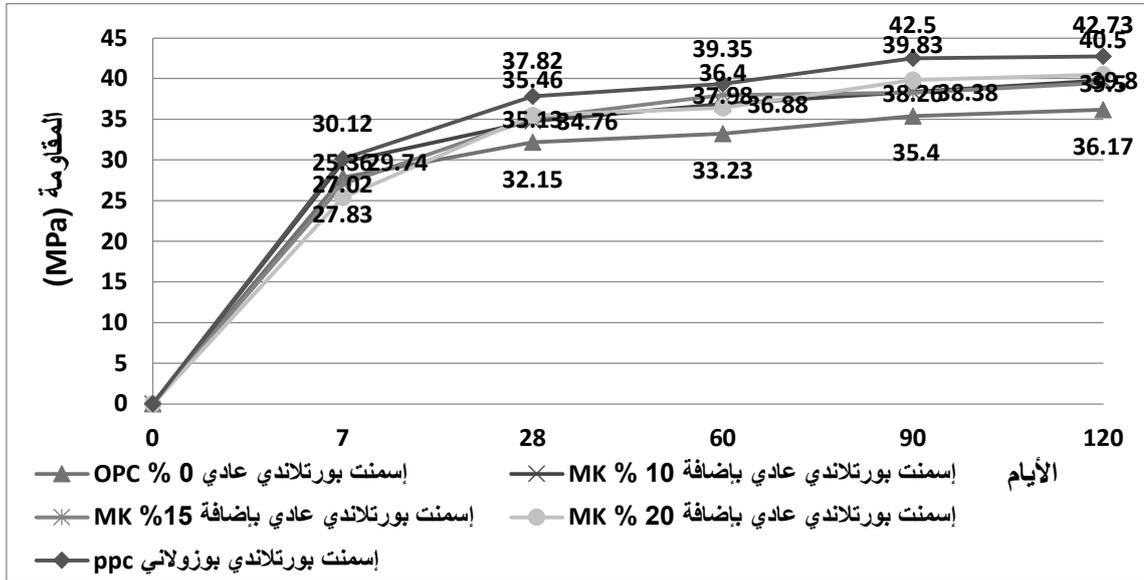


شكل رقم (3) يبين نتائج اختبار الانسيابية للمونة الإسمنتية بإضافة ميتاكاولين موقع سبها.

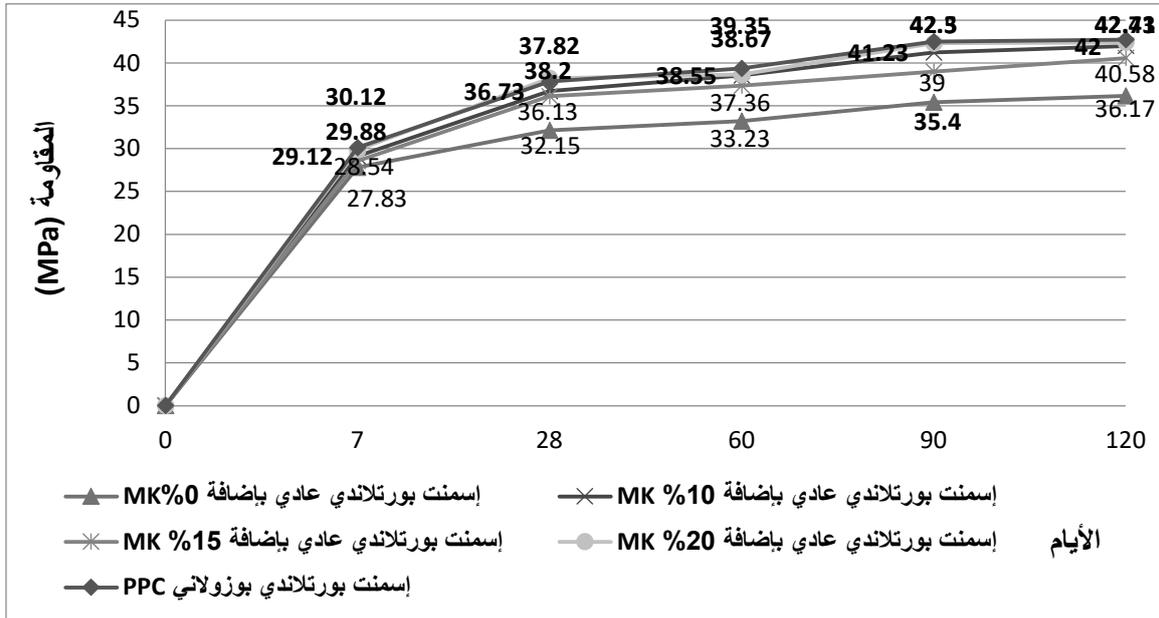


شكل رقم (4) يبين نتائج اختبار الانسيابية للمونة الإسمنتية بإضافة ميتاكاولين موقع تمنهنت.

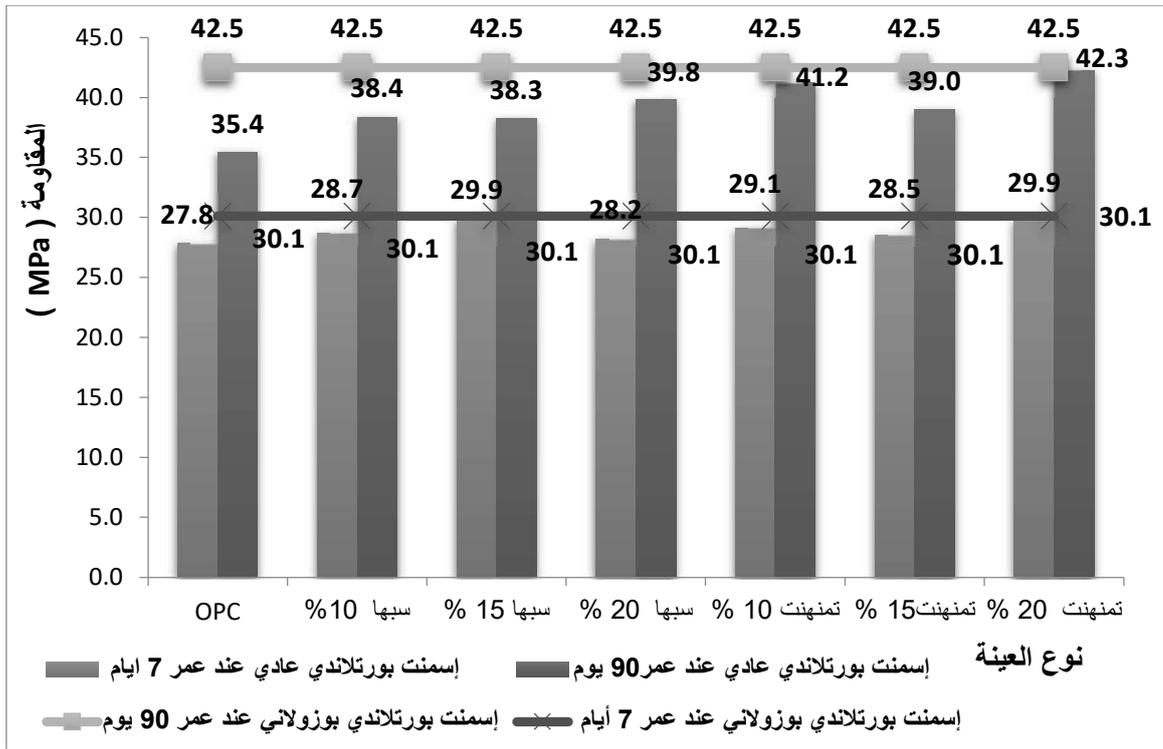
## 3.3.1 نتائج اختبار مقاومة الضغط



شكل رقم (5) يبين نتائج اختبار مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية بإضافة ميتاكاولين موقع سبها.



شكل رقم (6) يبين نتائج اختبار مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية بإضافة ميتاكاولين موقع تمنهنت.



شكل رقم (7) يبين مقارنة نتائج اختبار مقاومة الضغط لمكعبات مونة الإسمنت البورتلاندي العادي مع الإسمنت البورتلاندي البوزولاني.

#### 4.1 المناقشة

##### 4.1.1 اختبار الانسيابية

تم قياس الانسيابية وفق المواصفات الأمريكية (ASTM C109 - 92) لجميع خلطات المونة الإسمنتية<sup>[7]</sup>، وأشكال 3-4 توضح النتائج التي تم الحصول عليها، ومن خلالها نجد أن لإضافة (MK) من موقعي الدراسة للمونة الإسمنتية أثر واضح علي نتائج الانسيابية، فزيادة نسبة (MK) المستبدلة تقل نسبة الانسيابية (تقل نسبة زيادة قطر العينة المختبرة)، ويزداد تماسك المكونات، مما يجعلها غير قابلة للانفصال، وبالمقارنة مع نتائج (PPC) نجد أنها أعطت نتائج متقاربة مع نتائج (OPC) بإضافة (MK) بنسبة (20%) وهذا ما يعزز من إمكانية استخدام (MK) المحلية في إنتاج المونة الإسمنتية والخرسانة.

##### 4.1.2 اختبار تحديد نسبة الامتصاص

إن نسبة الامتصاص تختلف باختلاف نسبة المستبدل من (MK) علي تم تحديد نسبة الامتصاص، لجميع العينات

المدروسة بعد عمر معالجة 60 يوم<sup>[4]</sup> من تاريخ الصب، وجد أنه لإضافة (MK) أثر واضح في تقليل نسبة امتصاص الماء، لجميع نسب الاستبدال المستخدمة وذلك بسبب تغير البنية المجهرية للإسمنت، وتحول مادة هيدروكسيد الكالسيوم المنحلة بالماء إلى مادة

سيليكات الكالسيوم المائية الغير منحلة بالماء، وذلك ما يقلل المسامية إلى الحد الأقصى، كما هو موضح في الشكل رقم 1 والشكل رقم 2، حيث كانت أقل قيمة لنسبة امتصاص باستخدام OPC هي 5.33%، لعينة الإسمنت البورتلاندي العادي بإضافة 20% MK موقع تمنهنت، وبالمقارنة مع نتائج PPC نجد أنها أقل من ذلك حيث سجلت نسبة امتصاص 4.006%، ويرجع ذلك الفرق في نتائج الامتصاص لي OPC و PPC إلى التغير في التركيب الكيميائي لي (MK) المستبدلة ومع كل هذه التغيرات في النتائج كانت نتائج مقاربة باستخدام نسبة استبدال MK (20%) من موقعي الدراسة مما يعزز من متانة المونة الإسمنتية المنتجة والخرسانة.

وقد بدأ من خلال هذه الاختبار، صحة هذا التوقع، حيث كان امتصاص المونة الاسمنتية الغير حاوية على (MK)، أكبر من المونة الحاوية على (MK %20) بحوالي 53.08%، وتتغير نسبة الامتصاص بتغير نسبة الاحلال أي كلما زادت نسبة (MK) قلت نسبة الامتصاص.

### 4.1.3 اختبار مقاومة الضغط

تم اجراء اختبار مقاومة الضغط لمكعبات المونة الإسمنتية وفق المواصفة الأمريكية 90 - ASTM C109 ، و لوحظ خلال الأيام الأول من عمر المونة لم يكن هناك أي أثر واضح لإضافة (MK)، علي المقاومة باستخدام OPC أو PPC، و ذلك لبطاً التفاعل البوزولاني حيث بلغت قيمة المقاومة باستخدام OPC 29.88 MPa لعينة الإسمنت البورتلاندي العادي بإضافة 20% MK موقع تمنهنت، في حين بلغت قيمة المقاومة باستخدام PPC 30.1 MPa كما هي مبينة في الشكل رقم 5 - 6 حيث أنه هناك أثر واضح لإضافة (MK) على المقاومة في الأيام المتأخرة من عمر المونة الإسمنتية باستخدام OPC و PPC ، وكانت نتائج PPC أعلى من نتائج OPC بنسبة (30%) حيث بلغة أعلى قيمة مقاومة 42.3 MPa لعينة الإسمنت البورتلاندي العادي بإضافة 20% MK موقع تمنهنت، عند عمر 120 يوم، وباستخدام PPC حيث بلغ أعلى قيمة لمقاومة 42.5 MPa عند عمر 120 يوم، وبالمقارنة بين نتائج OPC , PPC نجدها قد أعطت نتائج مقاربة خاصةً باستخدام نسبة استبدال 20% من كلا الموقعين لذلك يمكن إنتاج إسمنت بوزلاني باستخدام البوزلانا الطبيعية المحلية والمستخرجة من موقعي الدراسة.

### 5.1 الخلاصة

- 1- استخدام مادة الميتاكولين كبديل جزئي للإسمنت تعزز من الخواص الميكانيكية للمونة الإسمنتية بما في ذلك مقاومة الضغط وبزيادة تصل إلى (30%) وتقليل النفاذية وامتصاص الماء بزيادة تصل إلى (53.08%).
- 2- يمكننا إنتاج إسمنت بورتلاندي بوزلاني (PPC) باستخدام البوزلانا المحلية من موقعي سبها وتمنهنت مما يساهم في تقليل من استهلاك الإسمنت البورتلاندي العادي وتقليل تكلفة الإسمنت المنتج بإضافة هذه المواد.
- 3- حققت العينات التي تحتوي على مادة الميتاكولين من كلا الموقعين أفضل نتائج لجميع الاختبارات المدروسة بالمقارنة مع العينة المرجعية والتي لا تحتوي على مادة الميتاكولين.

### 6.1 التوصيات

- 1- زيادة البحث في مجال استخدام مادة (MK) كبديل جزئي للإسمنت من مواقع اخرا لم يتم دراستها لما في ذلك من توفير اقتصادي في صناعة المواد الإسمنتية والخرسانة المنتجة.

- 2- استغلال هذه الموارد الطبيعية بإدخالها في صناعة الإسمنت البورتلاندي البوزولاني وجعلها أحد مصادر الدخل للمنطقة لدعم الاقتصاد الوطني.
- 3- دراسة تأثير إضافة (MK) للخرسانة على فترات زمنية أقل وأبعد مما تم دراسته، ومحاولة خلط عدة أنواع من (MK) ودراسة تأثير ذلك على خصائص الخرسانة والمونة الإسمنتية.

## 7.1 المراجع

- 10.م. احلام الوافي، أ.د. عبدالسلام عكاشة، تأثير استخدام المواد البوزولانية على تشغيلية الخرسانة، ليبيا، المؤتمر العلمي الأول لطلبة الدراسات العليا، جامعة سبها، 2017.
- 11.م. احلام الوافي، تأثير المواد البوزولانية بجنوب ليبيا على خصائص الخرسانة الطرية، رسالة ماجستير، ليبيا، جامعة سبها، (2017).
- 12.أ.د. عبد السلام عكاشة، تكنولوجيا الخرسانة، الطبعة الأولى، ليبيا، منشورات جامعة سبها، 2013.
- 13.أ.د. محمود إمام، د. محمد أمين، خواص المواد واختبارها، مصر، منشورات جامعة المنصورة، 2007.
- 14.م. أمينة عثمان الحمادي، أثر إضافة البوزولانا الطبيعية والكلس كبديل جزئي عن الإسمنت على خواص الخرسانة، رسالة ماجستير، سوريا، منشورا جامعة دمشق، 2017.
15. American Society for Testing and Materials "ASTM C618-03: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolana for Use in Concrete" 2003.
16. ASTM C109-92, "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. Or 50-mm Cube Specimens)". ASTM, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103, USA, 1992.
17. Belaidi, A, L. Azzouz, E. Kadri, S. J. C. Kenai and B. Materials, Effect of natural pozzolana and marble powder on the properties of self-compacting concrete, 2012. 31: 251 - 257.
18. Singh, N. B. J. M. Clays and clay minerals in the construction industry. 2022 12 (3) 301.
19. Mohamed -A-Aboubakar, Eshmaiel Ganjian, Homayoon Pouya, A. Akashi, A Study on the Effect the addition of thermally treated Libyan Natural Pozzolan has on the Mechanical Properties of Ordinary Portland Cement Mortar, 1, January 2013, page 79.
20. Pınarçı, I. Y. J. C. Kocak and B. Materials (2022) "Hydration mechanisms and mechanical properties of pumice substituted cementitious binder." 335 -127528.
21. Singh, N. B. J. M. (2022) "Clays and clay minerals in the construction industry" 12(3) 301.
22. Cao, C. J. R. i. E. (2023). "Prediction of concrete porosity using machine learning." 17: 100794.

## تأثير زمن حرق البوزولانا المحلية على خواص المونة الاسمنتية

م. عمر إبراهيم محمد علي النظيف\*<sup>1</sup> أ.د. عيد السلام المبروك عكاشة<sup>2</sup>  
 1 مهندس، الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، براك الشاطئ  
 2 أستاذ دكتور، الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، براك الشاطئ

## المخلص

أصبحت التنمية المستدامة الأمر الشاغل لجميع العلماء والباحثين في عصرنا الحالي. لتطبيق التنمية المستدامة في مجال الهندسة المدنية يتم تطوير واكتشاف مواد حديثة صديقة للبيئة. تهدف هذه الدراسة إلى دراسة تأثير زمن حرق البوزولانا المحلية واستخدامها كبديل جزئي للإسمنت البورتلاندي العادي، وذلك لمعرفة زمن الحرق المثالي ومدى تأثيره على خواص المونة الإسمنتية. رغم الفوائد الاقتصادية والبيئية والتقنية لاستعمال البوزولانا الطبيعية إلا أنه غالباً ما تقترن هذه الفوائد ببعض العيوب كالحاجة إلى زمن إنضاج أطول وانخفاض المقاومة الميكانيكية المبكرة عند إضافة البوزولانا الطبيعية، وأوضحت نتائج الدراسة أن البوزولانا المحلية تتحول إلى مادة الميكاكولين عند درجة حرارة 800 درجة مئوية ولمدة ساعتين. كما أن خصائصها البوزولانية تتفق مع متطلبات المواصفات الأمريكية ASTM. وأنه يمكن استخدامها كبديل جزئي للإسمنت دون التأثير على خاصية المقاومة للمونة الإسمنتية. في هذه الورقة قمنا بتوريد البوزولانا الطبيعية المحلية من موقع (سبها) وتم تصميم خلطات من المونة الإسمنتية مع إضافة البوزولانا المحلية كبديل جزئي للإسمنت بنسبة (20%) من وزن الإسمنت وأجرينا الإختبارات التشغيلية على المونة البوزولانية. حيث تم إجراء اختبار مقاومة الضغط للمكعبات كلاً حسب المدة الزمنية المقررة له، حيث أظهرت نتائج الدراسة حدوث تناقص في المقاومة عند إحلال الميكاكولين في الأيام الأولى وزيادة المقاومة بعد عمر 28 يوم.

الكلمات الدالة: إحلال، الطين المحروق، الميكاكولين، زمن الحرق، الاستدامة.

## 1-مقدمة عامة

الخرسانة هي مادة بناء مستخدمة على نطاق واسع وتتكون من الإسمنت والماء والركام مثل الرمل أو الحصى أو الحجر المكسر. وهي مادة متعددة الاستخدامات يمكن تشكيلها بأشكال وأحجام مختلفة لتناسب احتياجات البناء المختلفة. وهي مادة متينة وقوية يمكنها تحمل قوى الضغط العالية مما يجعلها مناسبة لهياكل البناء مثل المباني والجسور والطرق.

يعود تاريخ صناعة الخرسانة إلى العصور القديمة عندما استخدم الرومان مزيجاً من الرماد البركاني والجير لإنشاء نوع من الخرسانة حيث كانت تستخدم في بناء القنوات والمعابد وغيرها من الهياكل. ومع ذلك ، لم تبدأ صناعة الخرسانة الحديثة في الظهور حتى القرن التاسع عشر مع اختراع الإسمنت البورتلاندي ، والذي لا يزال أكثر أنواع الإسمنت شيوعاً اليوم.[1] ويعتبر الإسمنت المادة الرابطة الرئيسية في الخرسانة وهو مسؤول عن تماسك المكونات الأخرى معاً، ويستخدم الماء لتنشيط الإسمنت وجعله يتصلب، ويوفر الركام الجزء الأكبر من الخرسانة ويمنحها القوة والمتانة.[2] وهو من أكثر المواد الخام أهمية في الحضارة الإنسانية، حيث يستخدم على نطاق واسع في كثير من عمليات البناء والتشييد، وبالرغم من أهمية الإسمنت في جميع مجالات البناء و التشييد إلا أن

إنتاجه في الأفران «Rotary Kiln» يتطلب حرارة عالية حتى تتم عملية الحرق ونتيجة لذلك هناك كميات عالية من الوقود الأحفوري تستخدم لحرق المواد الخام للإسمنت ليخرج لنا بالشكل المطلوب [3]. ويتسبب حرق الوقود الأحفوري لإنتاج الإسمنت في انبعاث كميات كبيرة من الغازات الضارة [4] ومن أهمها ثاني أكسيد الكربون وتقدر الأبحاث أن العملية التصنيعية للإسمنت في العالم تسهم بنحو 5% من مجمل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ذي الآثار السلبية على البيئة والإنسان [5].

لهذه الأسباب تركز الأبحاث خصوصا في حقل الهندسة الإنشائية على مواد بديلة بحيث تحقق التنمية المستدامة دون الإخلال بخواص المواد الأصلية ، ومن هذه البدائل البوزولانا حيث تعتبر من المواد المستهدفة دائما لإضافتها إلى الخرسانة والتي تعتبر من أهم المواد المستخدمة في المنشآت والمباني المختلفة. [8] ومصطلح البوزولانا يطلق بصورة عامة على عدد من المواد الطبيعية والمواد المحضرة صناعيا مثل الطين المحروق (clay Burnt) وهو المادة المستخدمة في هذه الدراسة، حيث يحظى الجنوب الليبي بالاهتمام من قبل مركز البحوث الصناعية حيث قام المركز منذ زمن بإجراء العديد من الدراسات الجيولوجية على الرواسب المعدنية بالجنوب. وقد أشارت تلك الدراسات إلى توفر العديد من الخامات الأولية التي تدخل في صناعة مواد البناء ومن أهمها الطينيات، حيث تتوفر وبشكل كبير حول مدينة سبها و تمنهنت، وبناء على تلك الدراسات فقد تم التفكير في إمكانية عمل دراسة موسعة على تلك الطينيات بغرض استخدامها كجزء من الإسمنت في الخلطات الخرسانية [6]. وقد تم استخدام مثل تلك الطينيات أو ما يعرف البوزولانا الطبيعية في عدد من دول العالم في الخلطات الخرسانية كجزء من كمية الإسمنت المطلوبة في الخلطة وقد أثبتت نجاحها وتحسينها لخواص الخرسانة الطرية والجافة وأنها تعتبر سهلة التصنيع ورخيصة في الثمن [7] وهناك العديد من البدائل للإسمنت البورتلاندي التي يمكن استخدامها كماد بوزولانية، بما في ذلك الرماد المتطاير، والخبث، والطين المكلس ، مما يقلل من تكاليف الإنتاج ويحسن خصائص الخرسانة. وتعتمد هذه الدراسة على استخدام الطينيات الليبية كبديل جزئي للإسمنت في الصناعات الهندسية. شملت المرحلة الأولى من الدراسة تكمير الكاولين الى أحجام صغيرة ومن ثم تحويل طين الكاولين إلى ميتاكاولين عن طريق حرق الكاولين عند درجات حرارة 800 درجة مئوية لمدة ساعة في المرة الأولى ولمدة ساعتين في الأخرى ومن ثم طحنها الى درجة النعومة المطلوبة وهي المارة من منخل 90 ميكرون، ومن ثم تم تصميم خلطة مونة إسمنتية مع إضافة البوزولانا المحلية كبديل جزئي للإسمنت بنسبة (20%) من وزن الإسمنت وإجراء الاختبارات على المونة البوزولانية. مثل دراسة مقاومة الضغط ونسبة الامتصاص وزمن الشك الابتدائي والنهائي للمونة الإسمنتية المستخدم فيها الميتاكاولين كبديل جزئي للإسمنت البورتلاندي العادي لدراسة مدى نشاط وتفاعل الميتاكاولين المحلية وخصائصها الميكانيكية.

أوضحت النتائج أنه يمكن تحويل الطينيات المحتوية على مادة الكاولين إلى ميتاكاولين وأن أفضل زمن حرق للتكليس كانت ساعتين وأن إمكانية استخدام الميتاكاولين الليبي كبديل جزئي للإسمنت بنسبة تصل إلى 20% للحصول على مقاومة ضغط جيدة للمونة الإسمنتية، وأن خصائصها البوزولانية تتفق مع المتطلبات المواصفات الأمريكية C33 (ASTM) بالخصوص.

**2.1-الهدف من البحث:**

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة تأثير زمن حرق البوزولانا المحلية واستخدامها كبديل جزئي للإسمنت البورتلاندي العادي، وذلك لمعرفة زمن الحرق المثالي ومدى تأثيره على خواص المونة الإسمنتية. ويمكن أن تساعد نتائج هذا البحث في معرفة درجة الحرارة المثلى لحرق الكاولين واستخدامه كبديل جزئي للأسمنت في الخرسانة والمساهمة في الجهود المبذولة للحد من التأثير البيئي لصناعة الإسمنت.

**3.1 منهجية الدراسة:**

تنقسم هذه الدراسة إلى جزئين الجانب النظري والجانب العملي: -

**1.3.1 الدراسة النظرية: -**

في هذه المرحلة سيتم التركيز على جمع المعلومات الكافية والحديثة حول موضوع البحث من خلال الاطلاع على الدراسات السابقة من أبحاث ورسائل وأوراق علمية منشورة والكتب ذات العلاقة بتكنولوجيا صناعة الخرسانة ومواد البناء والتي تركز على زمن الحرق واستخدام البوزولانا كبديل جزئي للإسمنت.

**2.3.1 الدراسة العملية:**

المرحلة الأولى:

- توريد البوزولانا الطبيعية المحلية من موقع (سبها) وتكسيهه إلى أحجام صغيرة (5-10 mm) ثم قمنا بحرق العينات عند درجة حرارة 800 درجة مئوية لمدة ساعة في المرة الأولى ولمدة ساعتين في الأخرى ومن ثم نقوم بطحنها ونوصلها إلى النعومة المطلوبة المارة من منخل (90 μ).
- توريد الركام الناعم من رمال زلاف وإجراء الإختبارات المعملية عليه ومعرفة مدى مطابقته للمواصفات المعمول بها.
- توريد إسمنت البورتلاندي العادي المتوفر في أسواق براك الشاطي وعمل الإختبارات المعملية عليه.
- تصميم خلطة المونة الإسمنتية مع إضافة البوزولانا المحلية كبديل جزئي للإسمنت بنسبة (20%)، حيث كانت نسبة مكونات المونة الإسمنتية البوزولانية 1:3 (إسمنت: رمل) لكل جزء إسمنت نستخدم 3 أجزاء من الرمل ، حيث أن كثافة الأسمنت هي 3150 كجم/م<sup>3</sup>، وكثافة الرمل هي 2650 كجم/م<sup>3</sup>، وكثافة الماء هي 1000 كجم/م<sup>3</sup>، حجم الأسمنت = 0.1 كجم / 3150 كجم/م<sup>3</sup> ≈ 0.0000317 متر مكعب ، وحجم الماء = 0.05 كجم / 1000 كجم/م<sup>3</sup> = 0.00005 متر مكعب ، وحجم الرمل = 0.3 كجم / 2650 كجم/م<sup>3</sup> ≈ 0.000113 متر مكعب، وحجم البوزولانا تمثل 20% من وزن الإسمنت أي 6.34e-06 m<sup>3</sup> وهذا لمكعب واحد بحجم 0.000125 متر مكعب .
- إجراء الإختبارات التشغيلية واللازمة على عينة المونة الإسمنتية البوزولانية.
- صب العينات في القوالب الخاصة بها ووضعها للمعالجة إلى المدة المحددة للاختبار.

جدول رقم (1.1) يوضح الرموز المختصرة للعينات

الرمز	زمن الحرق
A	المرجعية
D1	ساعة 800
D2	ساعتين 800

## 2-الاختبارات المعملية:

تم اجراء الاختبارات على المونة الاسمنتية داخل معمل تكنولوجيا الخرسانة بقسم الهندسة المدنية وهي (حساب مقاومة الضغط بعد 3 و 14 و 28 و 60 و 90 يوم وكانت نسبة الإحلال 20% من وزن الاسمنت البورتلاندي العادي، كان الخلط يدوي حيث تم الخلط على الجاف أولاً حتى تجانس لون الخلطة بين البوزولانا والاسمنت والرمل وكان نسبة الاسمنت الى الرمل (3:1) طبقاً للمواصفات، ونسبة الماء 0.55.

## 3-تحليل ومناقشة النتائج:

يلعب زمن حرق الكاولين عند التكليس دوراً مهماً في تحديد جودة مونة الإسمنت البوزولاني. حيث أنه قمنا بدراسة تأثير زمن الحرق على خواص المونة البوزولانية.

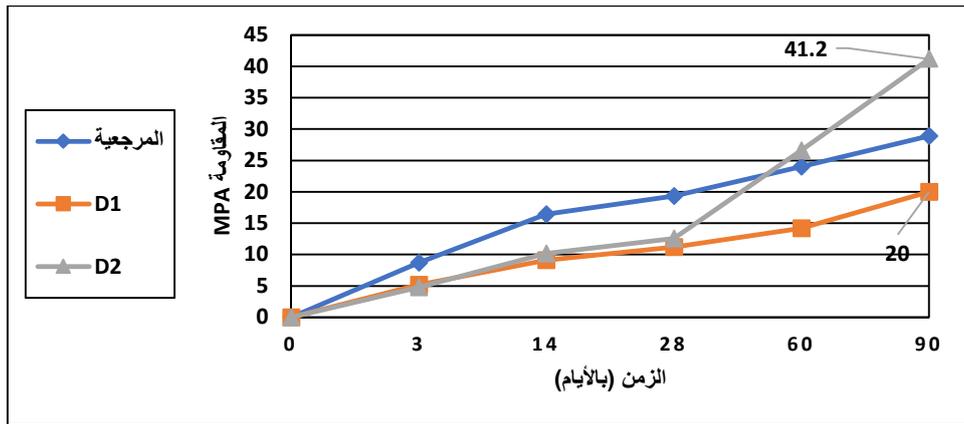
ولتحديد زمن الحرق المناسب قمنا بإجراء الاختبارات المعملية، حيث تم تغيير زمن الحرق إلى زمنين مختلفين ساعة واحدة وساعتين بدرجة حرارة 800 درجة مئوية.

واستخدام الكاولين المتوفر محلياً في هذه الدراسة. تم حرق الكاولين في فرن كهربائي بدرجات حرارة 800 درجة مئوية وزمن حرق متغير (ساعة واحدة وساعتين). وتم تحضير المونة الإسمنتية البوزولانية باستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي (OPC) والكاولين المحروق. حيث تم اختبار المونة الإسمنتية البوزولانية المنتجة من حيث مقاومة الضغط ونسبة الامتصاص وزمن الشك الابتدائي والنهائي.

ووجد انه لكي يحدث التفاعل بشكل كامل، يتطلب وقتاً كافياً. إذا تم حرق الكاولين لفترة قصيرة جداً، فلن يكون لدى التفاعل الوقت الكافي للاكتمال، ولن يتم تكوين كمية كافية من الميكانكا البوزولانية.

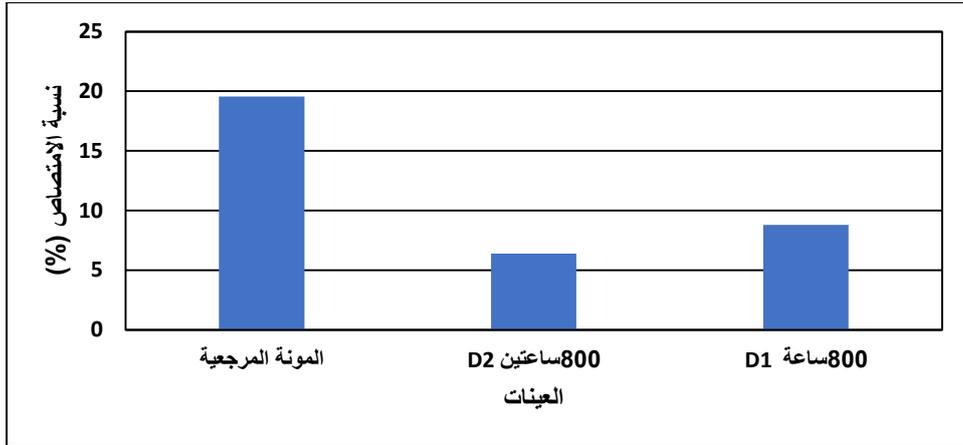
يؤدي زيادة زمن الحرق إلى زيادة كمية الميكانكا البوزولانية في الكاولين. وأن الميكانكا البوزولانية هي مادة صلبة بيضاء اللون تتكون من الألومينا السيليكات غير المائية. تتميز الميكانكا البوزولانية بقدرتها على تكوين روابط كيميائية مع أكسيد الكالسيوم في الإسمنت البورتلاندي. وكلما زاد زمن الحرق، زادت كمية الميكانكا البوزولانية في الكاولين. وذلك لأن التفاعل الرئيسي في عملية التكليس يحدث بشكل أسرع عند درجات الحرارة العالية تؤدي زيادة كمية الميكانكا البوزولانية إلى زيادة مقاومة الضغط والمقاومة

الكيميائية للمونة الإسمنتية البوزولانية. تلعب الميكانيكا البوزولانية دورًا مهمًا في تحديد خصائص المونة الإسمنتية البوزولانية. فهي تساهم في زيادة مقاومة الضغط والمقاومة الكيميائية للمونة. ويمكن القول إن زيادة زمن حرق الكاولين إلى ساعتين أدى إلى زيادة كمية الميكانيكا البوزولانية في الكاولين، وبالتالي إلى زيادة مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية البوزولانية بنسبة 106%. وعندما تم حرق الكاولين لمدة ساعة واحدة، لم يحصل تكلس حقيقي للكاولين. وذلك لأن زمن الحرق لمدة ساعة واحدة غير كافٍ لتحويل الألومينا والسليكا إلى ميتاكاولين بشكل كامل. لذلك، لم يتم تكوين كمية كافية من الميكانيكا البوزولانية في الكاولين. وعندما تم حرق الكاولين لمدة ساعتين، حصل تكلس حقيقي للكاولين. ذلك لأن زمن الحرق لمدة ساعتين كافٍ لتحويل الألومينا والسليكا إلى ميتاكاولين بشكل كامل. لذلك، تم تكوين كمية كافية من الميكانيكا البوزولانية في الكاولين. وكانت مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية البوزولانية التي تم تحضيرها باستخدام الكاولين المحروق لمدة ساعتين أعلى من المونة التي تم تحضيرها باستخدام الكاولين المحروق لمدة ساعة واحدة بنسبة 106% عند المعالجة لمدة 120 يوم وبدرجة حرارة 800 درجة مئوية. ذلك لأن المونة الإسمنتية البوزولانية التي تم تحضيرها باستخدام الكاولين المحروق لمدة ساعتين تحتوي على كمية أكبر من الميكانيكا البوزولانية. كما أن الميكانيكا البوزولانية الموجودة في هذه المونة أكثر نضجًا، حيث أن D2 العينة التي تم حرقها بدرجة حرارة 800C لمدة ساعتين و D1 العينة التي تم حرقها بدرجة حرارة 800C لمدة ساعة واحدة. وكما هو موضح في الشكل (1.1) التالي:



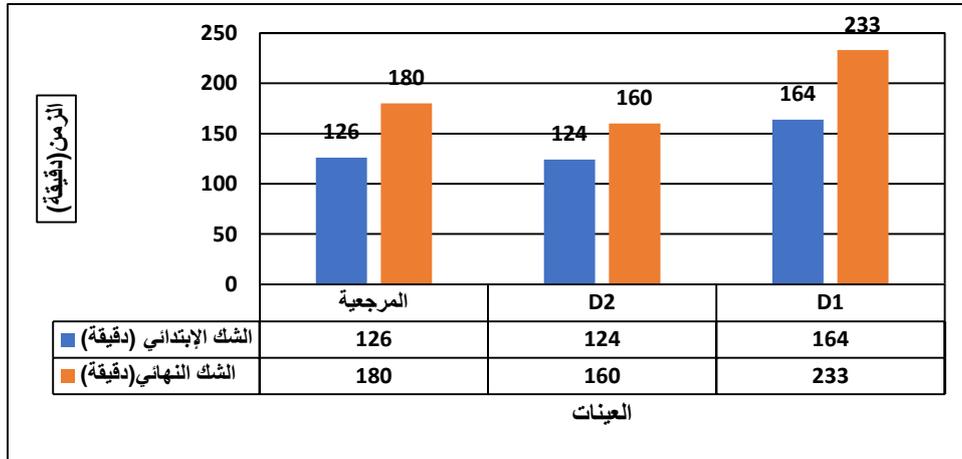
شكل (1.1) يوضح المقاومة عند درجة حرارة الحرق المختلفة

وكما وجد أن زمن الحرق له تأثير على نسبة الامتصاص، حيث أعطت العينات التي تم حرق الكاولين فيها لمدة ساعة واحدة نسبة امتصاص أعلى من العينات التي تم حرقها لمدة ساعتين بنسبة 39.34%. وذلك لأن المجموعات الوظيفية الجديدة التي تم إنشاؤها عند تسخين الكاولين لمدة ساعتين كانت أكثر نشاطًا كيميائيًا من المجموعات الوظيفية التي تم إنشاؤها عند تسخين الكاولين لمدة ساعة واحدة. هذا النشاط الكيميائي المتزايد تسبب في تفاعل المجموعات الوظيفية مع الماء، مما منع امتصاص الماء من قبل الكاولين. وكما هو موضح في الشكل (2.1) التالي: حيث أن D2 محروقة بدرجة حرارة 800C لمدة ساعتين و D1 محروقة بدرجة حرارة 800C لمدة ساعة واحدة.



شكل (2.1) يوضح نسبة الامتصاص عند درجة حرارة الحرق المختلفة

ووجد أنه عند حرق العينة لمدة ساعتين وبدرجة حرارة 800 درجة مئوية، فإن زمن الشك الابتدائي كان 140 دقيقة والنهائي كان 186 دقيقة. وعندما حرقت نفس العينة بنفس درجة حرارة الحرق ولكن لمدة ساعة واحدة، كان زمن الشك الابتدائي 164 دقيقة والنهائي 233 دقيقة. أي ان الفرق بين العينتين كان بنسبة 14.63% بالنسبة لزمن الشك الابتدائي وبنسبة 20.17% بالنسبة لزمن الشك النهائي. وكما هو موضح في الشكل (3.1) التالي:



شكل (3.1) يوضح زمن الشك الابتدائي والنهائي للأزمنة ودرجات الحرارة المختلفة

## 4- الخاتمة:

أظهرت هذه الدراسة بشكلٍ قاطع تأثير زمن حرق الكاولين على خصائص المونة الإسمنتية البوزولانية. فقد أدى زيادة زمن الحرق إلى ساعتين إلى تحسينات ملحوظة في كل من مقاومة الضغط (بنسبة 106%) والمقاومة الكيميائية (بنسبة 39.34%)، بالمقارنة

مع زمن حرق ساعة واحدة. كما أثر زمن الحرق على زمن الشك، حيث انخفض كل من الزمن الابتدائي والنهائي بنسبة 14.63% و20.17% على التوالي للمونة المُحضّرة باستخدام الكاولين المحروق لمدة ساعتين مقارنة بمدة ساعة واحدة.

وتؤكد هذه النتائج على أهمية زمن حرق الكاولين كعامل رئيسي في تحديد خصائص المونة الإسمنتية البوزولانية. ويُوصي باستخدام زمن حرق لا يقل عن ساعتين لتحقيق أفضل أداء ممكن للمونة.

تُقدم هذه الدراسة مساهمة قيمة في مجال تطوير المونة الإسمنتية البوزولانية، وتُتيح المجال أمام إمكانيات واسعة لاستخدامها في مختلف التطبيقات، بما في ذلك البناء والبنية التحتية. ونأمل أن تُحفّز هذه النتائج البحث العلمي وتُساهم في تعزيز استخدام المونة الإسمنتية البوزولانية كبديل مستدام للإسمنت البورتلاندي التقليدي، بما يُساهم في حماية البيئة وترشيد استهلاك الموارد الطبيعية.

#### 5- الخلاصة والتوصيات:

من خلال إجراء اختبار مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية بنسبة إستبدالية 20% من وزن الإسمنت لمادة الميكاكاولين المحددة بهذه الدراسة لتسجيل النتائج المتحصل عليها تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

1. عند إضافة الميكاكاولين للإسمنت فإن ذلك يؤثر على مقاومة الضغط حيث أنها تقلل من مقاومة الضغط في الوقت المبكر عند اختبار 7، 14 و28 يوم وذلك لعدم إنتاج هيدروكسيد الكالسيوم لتفاعل الميكاكاولين ولكنها تعطي نتائج جيدة بعد 28 و56 يوم وذلك لأنها تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الذي نتج عن تفاعل الإسمنت مع الماء وتكون مادة جيلاينية تملأ الفراغات بين حبيبات الإسمنت مما يعطيها مقاومة جيدة.

2. من الناحية الاقتصادية تعتبر إضافة مادة الميكاكاولين ذات فائدة كبيرة في تقليل تكلفة إنتاج الخرسانة وذلك لأنها تقلل من كمية الإسمنت المستخدم، ويقلل تلوث البيئة واستنزاف مواردها.

3. حرق الكاولين لمدة ساعتين يقلل من زمن الشك الابتدائي بنسبة 14.63% والنهائي بنسبة 20.17%.

#### 6- التوصيات:

1. إجراء دراسات إضافية لتأكيد النتائج باستخدام مواد وطرق مختلفة، مثل أنواع مختلفة من الكاولين ودرجات الحرارة المختلفة ونسب الاستبدال المختلفة.

2. تستند الحاجة إلى مزيد من البحث لتأكيد نتائج البحث الحالية. حيث تم إجراء البحث على مجموعة محدودة من المواد والطرق، لذلك من المهم إجراء دراسات إضافية لتأكيد النتائج باستخدام مواد وطرق مختلفة.

3. تطوير أساليب جديدة لتحسين مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية المضاف إليها الميكاكاولين، مثل استخدام مواد إضافية أو طرق معالجة جديدة.

4. تطبيق نتائج البحث في مجال التطبيق العملي، مثل استخدام الميكاكاولين في إنتاج الخرسانة أو غيرها من مواد البناء.

## 7-المراجع:

1. Seymour, Linda M., et al. "Hot mixing: Mechanistic insights into the durability of ancient Roman concrete." *Science Advances* 9 :(2023) 1.eadd1602
2. رئيس كيمياويين عبد الكريم عبد الستار فريدون, and د. فائزة عبد القادر علي-سهام محمد سعيد-زهراء علي عبد الامير- ثامرة خضير عباس. "تحضير مونة ريب من تالف المواد الإنشائية .Preparation Binding Mortars from local (2016).
3. Mohamad, Nabilla, et al. "Environmental impact of cement production and Solutions: A review." *Materials Today: Proceedings* 48 (2022): 741–746
4. Uzal B., L. Turanli y PK Mehta (2007) ، الخرسانة البوزولانية عالية الحجم للتطبيقات الإنشائية. مجلة المواد (5): ص. 105.538–535. ACI ،2007.
5. Worrell, Ernst, et al. "Carbon dioxide emissions from the global cement industry." *Annual review of energy and the environment* 26.1 (2001): 303–329
6. Akasha, Abdelsalam M. "Using of Libyan Calcined Clay in Concrete." *Calcined Clays for Sustainable Concrete: Proceedings of the 1st International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete*. Springer Netherlands, 2015
7. Hossain, Md Uzzal, et al. "Sustainable natural pozzolana concrete–A comparative study on its environmental performance against concretes with other industrial by–products." *Construction and Building Materials* 270 (2021): 121429.

## تأثير ألياف السليلوز المعاد تدويرها على الخصائص الميكانيكية للمواد الأسمنتية

محمد عبدالفتاح صالح<sup>1\*</sup>، عيد علي عبدالرازق<sup>2</sup>، سالم علي محمد ابوشيبية<sup>3</sup>  
 أستاذ مشارك، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة عمر المختار، ليبيا  
 أستاذ مشارك، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة عمر المختار، ليبيا  
 محاضر، قسم الهندسة الزراعية، كلية الزراعة، جامعة عمر المختار، ليبيا  
 Mohamed.aljewifi@omu.edu.ly\*

## الملخص

في هذا البحث تم دراسة تأثير إضافة الياف السليلوز القصيرة المعاد تدويرها على الخواص الميكانيكية للخرسانة. تم إضافة الألياف بستة نسب (10، 15، 20، 30، 60 و100) %، من حجم الأسمنت. أظهر اختبار التعبئة أن هناك نسبة ألياف مثالية مقدارها 15% من حجم المادة الرابطة، حيث يكون عامل التعبئة للهيكل الحبيبي هو الحد الأقصى. إن المونة المكافئة للخرسانة المحضرة بدون وينسب هذه الألياف تسمح بضمان الخواص المطلوبة للخرسانة وكذلك متابعة تطور الخصائص الميكانيكية والبنية المجهرية للمواد. بالنسبة للملاط المقوى بالألياف مع النسبة المثالية، فإن الانخفاض في إجمالي المسامية وتوزيع حجم المسام يفسر الزيادة في المقاومة الميكانيكية وكذلك في سن مبكرة عند 28 يومًا. وأخيرًا، أظهرت الخرسانة المسلحة بالألياف بنسبة 15% مقاومة ميكانيكية أعلى بنسبة 35% من الخرسانة التي لا تحتوي على هذه المقاومة.

الكلمات الدالة: المونة الاسمنتية، الخرسانة المسلحة بالألياف، ألياف السليلوز.

## 1. المقدمة

البناء والتشييد هما فرعا الصناعة اللذان يستهلكان مواد البناء، والتي تعتبر الخرسانة الأكثر استخداما في جميع أنحاء العالم. إن بساطة تصنيعها وإعدادها، وسعرها المنخفض، وأدائه الميكانيكي، ومثانتها في الظروف البيئية المختلفة. وعلى الرغم من هذه المزايا، فإن الخرسانة تصنف من المواد الهشة التي لا تقاوم احمال الشد. وعلاوة على ذلك نتيجة التغيرات البيئية، التي تؤدي الي فقدان ترابط وتلف المواد تدريجيا. والذي ينتج عنه ظهور الشقوق الكبيرة التي يمكن أن تؤدي إلى تدهور البنية الهيكلية للخرسانة. يتطلب هذا العيب المحتمل استخدام تقوية يمكنها تحسين خصائصه الفيزيائية والميكانيكية. يمكن إضافة الألياف المختلفة مع الخرسانة مثل الألياف الحديدية [1] والألياف النباتية [2-4] وألياف الكربون [5] بهدف استبدال المواد المضافة القابلة للاستهلاك وتحسين أدائها الميكانيكي. ومن المقبول الآن أن هذه الألياف مهما كانت طبيعتها، يمكن أن تحد وتتحكم في التشقق في سن مبكرة وتحت التحميل [2-6] يعد هذا البحث مساهمة في إضافة الياف السليلوز الناتجة عن إعادة تدوير الورق المقوى في الخرسانة.

أولاً، تم إجراء اختبارات معملية حول تأثير هذه الألياف على تعبئة الهيكل الحبيبي، والوصول الي الحد الأقصى لإضافة الألياف في الخرسانة. ومن أجل ذلك، تم إعداد المونة الخرسانية المكافئة (CEM). تتيح هذه المونة اختيار النسبة المثالية من الملدات الفائقة ومن ناحية أخرى متابعة تطور المقاومة الميكانيكية مع مرور الوقت. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن المونة المضاف إليها الألياف لديها مقاومة أعلى بكثير من تلك التي لا تحتوي عليها وممزوجة بالألياف بنسب أخرى. ولوحظ أيضًا انخفاض كبير

في المسامية وحجم المسام. أثناء تصنيع الخرسانة، تم العثور على علاقة جيدة بين الخواص في الحالة الطرية المقاسة على CEM وتلك المقاسة على الخرسانة المرتبطة بها. أكدت اختبارات المقاومة الميكانيكية بشكل قاطع أن إضافة الألياف تعمل على تحسينها.

## 2. تصميم الخلطة الخرسانية

يكون تصميم الخلطة الخرسانية دائماً نتيجة للمعادلة بين سلسلة من المتطلبات في الحالة الطرية والصلبة. يجب أن توفر الخرسانة قابلية تشغيل تسمح بسهولة الصب، ومقاومة جيدة للضغط بعد التصلب ومتانة جيدة في بيئة قاسية.

الخرسانة المستهدفة في هذه الدراسة هي الرخوة حيث يتراوح الهطول مع مخروط أبرامز بين 160 و 200 ملم [7].

والمقاومة المطلوبة هي 30 MPa بعمر 28 يوم. الطريقة المستخدمة لتصميم الخرسانة هي طريقة Dreux – Gorisse [8]. هذه الطريقة تسمح بتحديد تناسب جميع مكونات الخرسانة بدون ألياف والتي سيتم استخدامها كخلطة مرجعية.

تحدد الطريقة، بالنسبة لقابلية تشغيل معينة، الحد الأقصى لكمية المياه، ويتم فرض نسبة W/C المسموح بها بواسطة فئة التعرض البيئي. يتم بعد ذلك تثبيت الماء عند 164 لتر/م<sup>3</sup> ويتم اختيار W/C ليكون 0.47 مما يعطي كمية الاسمنت 350 كجم/م<sup>3</sup>.

## 3. المواد المستخدمة

تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي المتوفر محلياً، ومطابق للمواصفات القياسية الليبية (CEMI 42.5N) رقم 340 لسنة 2009 م الخاصة بالإسمنت البورتلاندي. تم استخدام رمل ذو تدرج حبيبي 4/0 مم، وكثافة 2.55 وحصى 20/4 مم وكثافة 2.51.

الجدول 1: التركيب الكيميائي والخواص الفيزيائية للأسمنت

مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم (ميغاباسكال)	النعومة (م <sup>2</sup> /كجم)	الوزن النوعي	CAF	CA	C2S	C3S	التحليل الكيميائي (%)
35	395	3.11	7	10	13	58	الاسمنت

أظهرت الحساب أن نسبة الرمل إلى الحصى تساوي 1.5 مما أدى إلى مزيج من الحصى قدره 1064 كجم / م<sup>3</sup> و 721 كجم / م<sup>3</sup> من الرمل.

## 4. تصميم الخلطة الخرسانية مع الألياف

### 4.1 إضافة الألياف

الألياف المستخدمة في هذه الدراسة هي ألياف قصيرة ناتجة عن إعادة تدوير الورق المقوى المعالج بالكبريتات. معامل المرونة يتراوح بين 20 و40 جيجا باسكال، ومقاومة تبلغ حوالي 500 ميجا باسكال. تحتوي هذه الألياف على حوالي 80% من السليلوز بكثافة 30 كجم/م<sup>3</sup>.

وعلى غرار الأنواع الأخرى من الخرسانة، تعتمد تركيبة الخلط بالألياف على متطلبات معينة في الحالة الطرية والصلبة مثل قابلية التشغيل والمقاومة الميكانيكية والمتانة. وتتعلق المشكلة الأساسية التي تثار في هذه المرحلة بالنسبة المئوية الحجمية للألياف التي سيتم استخدامها.

عند خلط الركام الخشن والرمل الجاف معاً، تبقى بينهما مساحات فارغة. بمجرد إضافة العجينة الأسمنتية مع الخليط الحبيبي، يحدث التشحيم وبالتالي يصبح الهيكل الحبيبي أكثر إحكاماً. تملأ العجينة الأسمنتية الفراغ ويحيط الفائض بالمواد الصلبة ويقلل الاحتكاك [9]. يمكن للألياف أن تعمل مثل الشوائب الصلبة في مع الأسمنت. ومن المتوقع أن تقوم هذه الألياف بملء الفراغات الموجودة بين الفراغات عن طريق تقليل نسبتها. وبالتالي يجب أن يكون هناك فائض من العجينة الأسمنتية مما يحسن التماسك وبالتالي تحسين المقاومة الميكانيكية. يمكن التعبير عن هذا الانخفاض في حجم الفراغات باستخدام عامل التعبئة PF [10، 11] الذي يمثل العلاقة بين الكثافات الظاهرية بواسطة الاهتزاز والكثافة الظاهرة للركام المعبأ بشكل طبيعي.

$$PF = \frac{\rho_d}{\rho_t}$$

Equation 1

حيث:

$\rho_d$  الكثافة الظاهرية الظاهرة بعد الاهتزاز.

$\rho_t$  الكثافة الظاهرية للركام المعبأ بشكل طبيعي.

وبالتالي، من بين هاتين الكثافتين، يمكن حساب عامل الفراغ بالعلاقة التالية:

$$\varphi_d = 1 - \frac{\rho_a}{\rho}$$

Equation 2

مع  $\rho$  الكثافة الحقيقية.

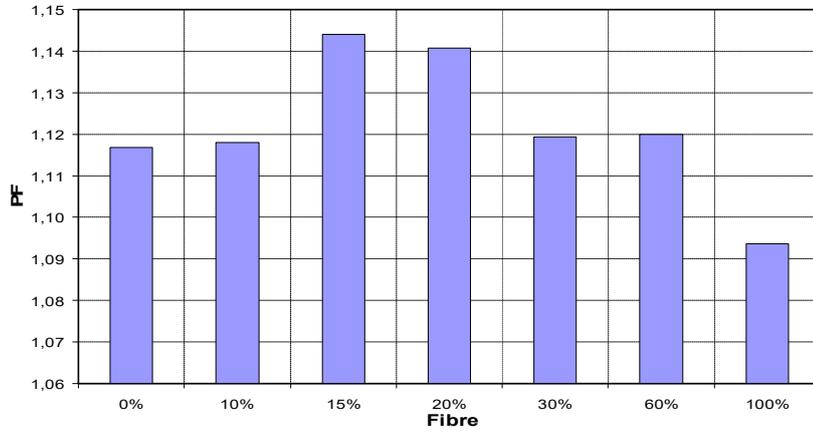
تم في هذه الدراسة فحص خليط المكونات الصلبة بدون ومع ستة نسب من الألياف مقارنة بحجم الأسمنت (10، 15، 20، 30، 60 و100%). ومن أجل الحفاظ على الحجم الكلي يساوي 1 م<sup>3</sup>، تم سحب كمية مقابلة من الرمل والحصى من كل خليط.

يلخص الجدول 2 نتائج هذا التحليل حيث يمكن ملاحظة أن الخليط الذي يحتوي على 15% من الألياف يعطي أقصى تعبئة بالإضافة إلى تقليل حجم الفراغات بنسبة 40% مقارنة بالخليط بدون ألياف.

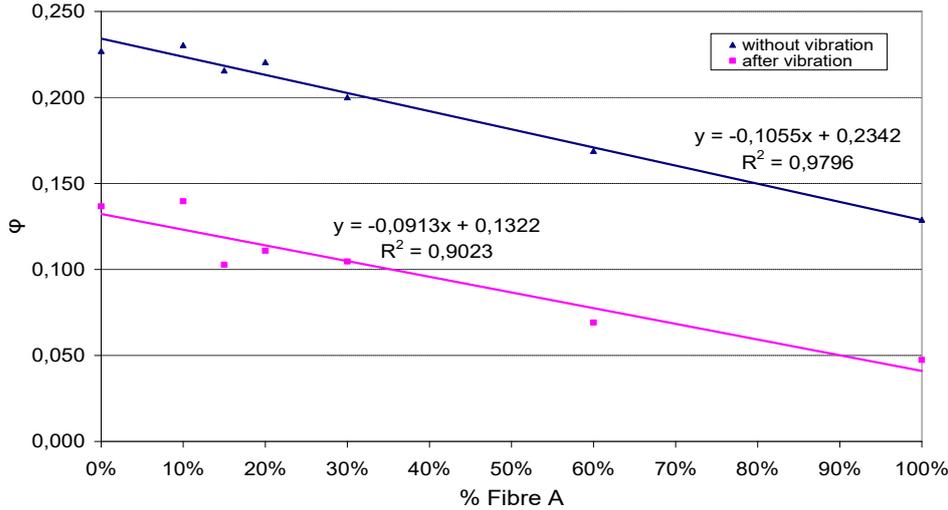
الجدول 2: نتائج اختبار التعبئة

Fiber	0%	10%	15%	20%	30%	60%	100%
PF	1.117	1.118	1.144	1.141	1.119	1.12	1.094
$\varphi_1$	0.227	0.23	0.22	0.22	0.20	0.17	0.13
$\varphi_2$	0.137	0.14	0.10	0.11	0.10	0.07	0.05

بالنسبة للخليط الذي يحتوي على 60 و 100% من الألياف، ينخفض عامل التعبئة على الرغم من انخفاض حجم الفراغات أيضًا. أثناء الاختبار، لوحظ طرد واضح للألياف في نهاية الاهتزاز. تم رسم هذه النتائج على المنحنيين التاليين الشكل 1. [a, b].



الشكل 1. [a] العلاقة بين معامل التعبئة ونسبة الألياف



الشكل 1. [b] العلاقة بين عامل الفراغات ونسبة الألياف

## 4.2 حساب كمية الامتصاص الماء في الألياف

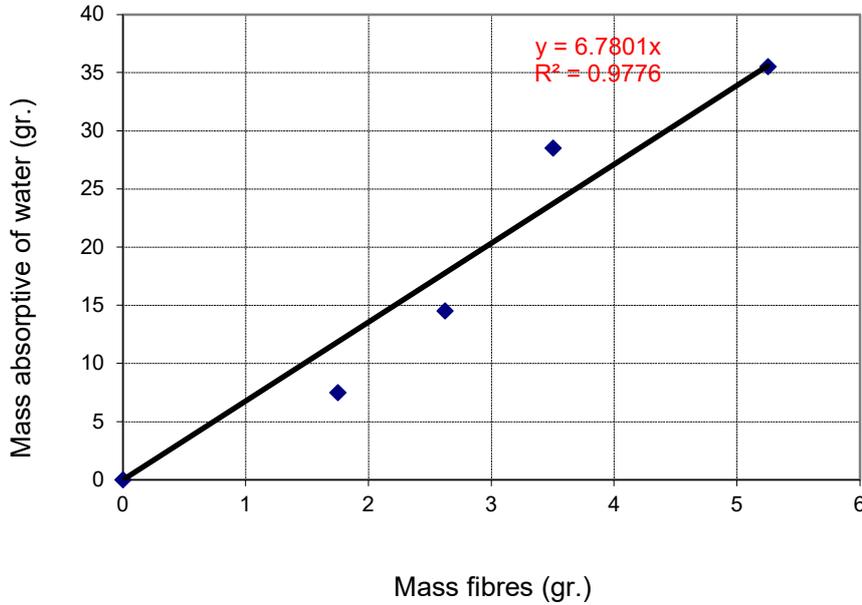
تتميز ألياف السليلوز بأنها مسامية [4] وتمتص الكثير من الماء. إذا لم يتم إدخال هذه الكمية مع ماء الخلط ستؤدي الي تقليل قابلية التشغيل للخرسانة.

ومن أجل تقدير هذه الكمية عند التشبع، تم تحضير عجينة من الأسمنت مع الاليف التي لها نفس نسبة  $w/c$ . ثم يضاف الماء تدريجيا حتى الحصول باختبار المخروط الصغير [11] على انتشار ذو قطر ثابت لا يؤثر بعده إضافة كمية إضافية من الماء. تم الوصول الي محتوى نهائي للماء بنسبة 670%.

سيؤدي هذا الماء الزائد إلى تكوين مادة مسامية للغاية بعد التصلب مما يؤدي إلى إنتاج خرسانة أقل مقاومة بكثير. ولذلك فإن تصحيح كمية الرابط ضروري للغاية مع الحفاظ على ثابت  $w/c$ .



الصورة 1. اختبار العجينة الأسمنتية



الشكل 2: تشبع الألياف بالماء.

## 5. المونة المكافئة للخرسانة

تم تطوير طريقة المونة المكافئة للخرسانة لحل المشاكل التي ينطوي عليها استخدام المدونات وعلى وجه الخصوص مشاكل الاختبارات التالفة للوصول الي النسبة الامثل [12]. يعتمد تصميم هذه المونة على حساب المساحة السطحية للمكونات بدلاً من حجمها. يتمثل المبدأ في استبدال الحصى بالرمل الذي يكون سطحه مساوياً لسطح الحصى.

يوجد ارتباط بين قابلية تشغيل CEM وقابلية تشغيل الخرسانة لأنه يتم الحفاظ على حجم الماء وسطح الأسمت والركام.

في حالة CEM، يتم قياس الانتشار باستخدام مخروط صغير يتم استنتاج أبعاده من مخروط أبرام بنسبة متجانسة تبلغ الضعف.

تظهر النتائج [12] وجود علاقة خطية بين انتشار المونة وهطول الخرسانة، والمقاس بشكل اعتيادي بواسطة اختبار الهطول.

وبالتالي يتم تثبيت الانتشار المستهدف على 20 سم (مما يسمح بالحصول على خرسانة بهبوط قدره 20 سم). تم زيادة نسبة المملدن الفائق تدريجياً حتى الحصول على انتشار قطره 20 سم. يعطي الجدول 3 تكوين النسب السبعة في CEM.

الجدول 3: مكونات المونة المكافئة للخرسانة مع النسب المختلفة للألياف

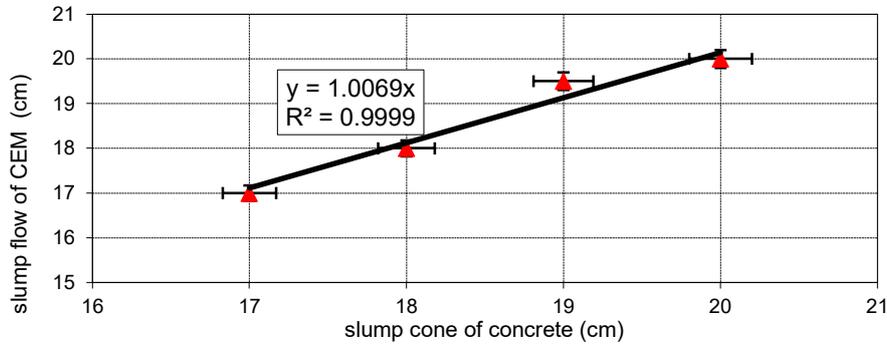
	CEM 0%	CEM 10%	CEM 15%	CEM 20%	CEM 30%	CEM 60%	CEM 100%
Cement (Kg/m <sup>3</sup> )	595.2	278,4	278,7	278,2	277,9	271	276
Sand (Kg/m <sup>3</sup> )	1276.8	1235,3	1211,6	1188,8	1142,4	1052,4	871,6
Fibre (Kg/m <sup>3</sup> )	0	0,6	0,9	1,1	1,7	3,1	5,0
Water (Kg/m <sup>3</sup> )	278.9	593,7	592,6	592	593	578,4	589
super plasticizer (Kg/m <sup>3</sup> )	3.2	3,3	3,6	3,6	3,6	3,5	3,5

ويعطي الجدول 4 المكونات النهائية للخرسانة بدون الألياف ومعها عند النسبة الحجمية المثلى البالغة 15%.

الجدول 4: مكونات الخلطة الخرسانية

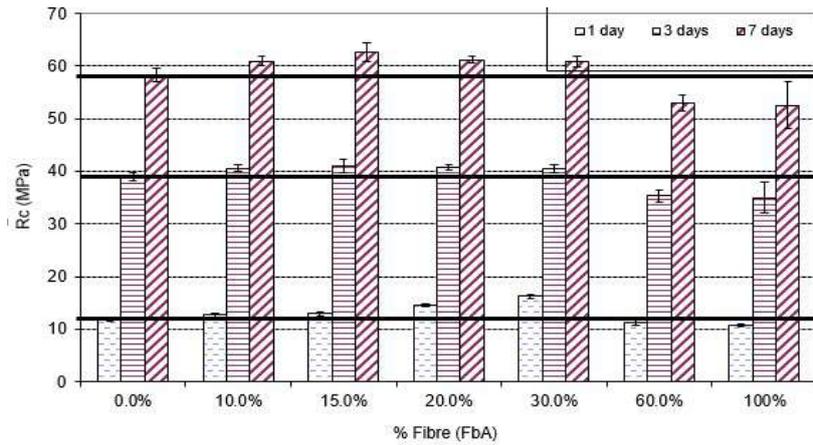
Component	Without fibre	With 15% fibre
Cement (Kg/m <sup>3</sup> )	350	356
Gravel (Kg/m <sup>3</sup> )	1064	1032
Sand (Kg/m <sup>3</sup> )	721	699
Fibre (Kg/m <sup>3</sup> )	0	0,52
Superplasticizer (Kg/m <sup>3</sup> )	1,89	2,14
Water (Kg/m <sup>3</sup> )	164	167,5

أثناء تصنيع الخرسانة، تم ربط العلاقة بين CEM والخرسانة مرة أخرى. ويوضح الشكل 4 أن العلاقة بين الهطول والانتشار انها علاقة خطية.



الشكل 4: انتشار العجينة الاسمتي

تم تحضير عينات من المونة بأبعاد 16×4×4 سم<sup>3</sup> من أجل دراسة المقاومة الانضغاط للمونة المسلحة بالألياف (الشكل 5).



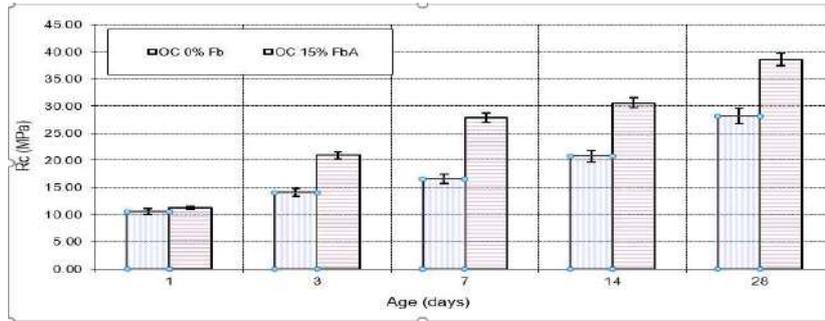
الشكل 5: مقاومة الانضغاط للمونة الاسمنتية.

تظهر نتائج مسامية الماء في الجدول 5. وقد وجد انخفاض بمقدار 2% في المسامية المفتوحة للمونة المسلحة بالألياف بنسبة 15% مقارنة بالمونة غير الليفية مما يفسر زيادة مقاومة المادة.

الجدول 5: مسامية المونة الخرسانية

Fibre (%)	0	10	15	20	30	60	100
porosity (%)	12,6	10,9	11,7	11,14	10,3	10,3	10,4

بالنسبة للمرحلة النهائية من الدراسة ووفقاً للنتائج السابقة تم اختيار النسبة الحجمية من الألياف قدرها 15% لصناعة الخرسانة. إن تطور المقاومة الميكانيكية لعينات الاختبار مقاس 32 x 16 سم<sup>2</sup> يظهر بوضوح أن تقوية الألياف تحسنها من عمر يوم واحد، حيث يمكن أن نذكر بوضوح أن مقاومة الخرسانة المسلحة بالألياف تزيد عن 35% من مقاومة الخرسانة غير المسلحة بالألياف مقارنة بالخرسانة الليفية. وتمثل هذه النتائج في الشكل التالي.



الشكل 6: مقاومة الانضغاط للخرسانة

## 6. الخلاصة

تؤدي إضافة الألياف إلى الخرسانة إلى تحسين خواصها الميكانيكية ومتانتها. وتؤكد النتائج للاختبارات المعملية فعالية اضا الياف السليلوز. يظهر اختبار التعب أن هناك نسبة مثالية يكون فيها عامل التعب هو الحد الأقصى. أتاحت طريقة المونة المكافئة للخرسانة التأكد من الخواص في الحالة الطرية للخرسانة المستهدفة ودراسة تأثير الألياف على الخواص الميكانيكية.

أثبتت النتائج أنه الخرسانة المسلحة بالألياف، تعطي مقاومة انضغاط أعلى من تلك غير المسلحة بالألياف، ويرجع السبب الي تقليل المسامية وبالتالي انخفاض نسبة الفراغات الي الحد الأدنى، عند نسبة 15% من حجم الرباط، حيث زادت قيمة المقاومة تزيد عن 35% مقارنة بالخرسانة الغير مسلحة بألياف.

## 7. المراجع

1. Maalej, M. and Victor C. Li, FLEXURAL/TENSILE-STRENGTH RATIO IN ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITES. Journal of Materials in Civil Engineering, 1994. 6(4): p. 513-528.
2. Filho, R., et al., Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres. Cement & Concrete Composites, 2005. 27: p. 537-546.
3. Ghavami, K., Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. Cement & Concrete Composites, 2005. 27: p. 637-649.

5. John, V.M., et al., Durability of slag mortar reinforced with coconut fibre. *Cement & Concrete Composites*, 2005. 27: p. 565–574.
6. Ogi, K., T. Shinoda, and M. Mizui, Strength in concrete reinforced with recycled CFRP pieces. *Composites: Part A*, 2005. 36: p. 893–902.
7. Haddad, R.H. and R.e.M. Abende, Effect of thermal cycling on bond between reinforcement and fiber reinforced concrete. *Cement & Concrete Composites*, 2004. 26(6): p. 743–752.
8. AFNOR, Standard NF EN 206–1. 2004, L'Association française de Normalisation (AFNOR),.
9. Baron and Ollivier, *Durabilité des bétons*. 1992, Paris: Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées. 453.
10. Grünwald, S., *Performance-based design of self-compacting fibre reinforced concrete*. 2004, Delft University of Technology: Netherlands.
11. Su, N., K.–C. Hsu, and H.–W. Chai, A simple mix design method for self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 2001. 31: p. 1799–1807.
12. Brouwers, H.J.H. and H.J. Radix, *Self-Compacting Concrete: Theoretical and experimental study*. *Cement and Concrete Research*, 2005. 35: p. 2116 – 2136.
13. Schwartzenruber, A. and C. Catherine, Method of the concrete equivalent mortar (CEM) – A new tool to design concrete containing admixture. *Materials and structures*, 2000. 33: p. 475–482.

## مقاومة الضغط للخرسانة ذاتية الدمك باستخدام البوزولانا المحلية

أ. أحمد نصر الفتحي<sup>1</sup>، أ.د. عبد السلام المبروك عكاشة<sup>2</sup>

1 ماجستير هندسة مدنية، قسم الهندسة المعمارية وتخطيط المدن، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، براك الشاطئ

2 دكتوراه هندسة مدنية، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ، براك الشاطئ

al.fathyyy@gmail.com

## المخلص

تشهد الخرسانة تطورا مستمرا في مجال البناء والتشييد و تعتبر الخرسانة الذاتية الدمك من الأنواع الحديثة للخرسانة العالية الأداء وتمتاز هذه النوعية بالانسيابية العالية واللزوجة التي تجعل الخرسانة قادرة على الحفاظ على حبيبات الركام مغلقة بحيث لا يحدث فيها أي انفصال حبيبي ، تتعكس هذه المميزات في أدائية الخرسانة وقوة مقاومتها للضغط حيث يعتبر اختبار مقاومة الخرسانة للضغط من أهم طرق فحص واختبار الخرسانة بشكل عام ومدى جودتها ومعيارا مهما لقبول الخرسانة من عدمه وهنا تستخدم البوزولانا في الخرسانة ذاتية الدمك لتحسين خواصها كما في الخرسانة التقليدية، تتناول فكرة هذا البحث دراسة تأثير البوزولانا المحلية بالجنوب الليبي على مقاومة الضغط في الخرسانة الذاتية الدمك ومراقبة تطور مقاومة الضغط خلال الفترات (3،7،14،28،60،90،120) يوما وذلك بإضافة البوزولانا المحلية المستخرجة من تربة منطقتي سبها و الشاطئ واستبدالها وزنيا من نسبة الإسمنت وكانت النسب كالتالي (10%،15%،20%) من وزن الإسمنت حيث كان المواقع المستهدفة هي خمسة مواقع بالجنوب الليبي وهي (العافية الشاطئ؛ أقر الشاطئ؛ تاروث الشاطئ؛ سبها ؛ تمنهنت) وبالتالي كان عدد الخلطات 3 خلطات لكل موقع بحيث كان إجمالي الخلطات 15 خلطة بالإضافة للخلطة المرجعية التي صممت بدون بوزولانا للمقارنة بالتغيرات الحاصلة على مقاومة الضغط نتيجة إضافة البوزولانا ومقارنة بين الأنواع المستخدمة للبوزولانا بهذه الدراسة وتحديد الموقع الأمثل من بين هذه المواقع الخمسة.

الكلمات الدالة: الخرسانة التقليدية الخرسانة الذاتية الدمك، البوزولانا المحلية، مقاومة الضغط، خرسانة عالية الأداء

## المقدمة:

تعتبر مقاومة الضغط أحد العوامل المهمة التي يجب مراعاتها في تصميم الخرسانة بشكل عام بكل أنواعها وفي الخرسانة الذاتية الدمك بشكل خاص ، حيث تسهم بشكل كبير في تحسين قوتها واستدامتها وأهمية مقاومة الضغط تكمن في قدرة الخرسانة على مقدار مقاومة الأحمال المسلطة عليها مما يضمن سلامة وتحمل الهياكل الخرسانية للأحمال المصممة لها وحيث أن تحقيق مقاومة ضغط عالية يتطلب اختيار المواد الصحيحة واتباع عمليات الإنتاج المناسبة لضمان تحقيق الأداء المطلوب والنتائج المرجوة فقد أظهر استخدام البوزولانا الطبيعي في جنوب ليبيا بالخرسانة حسب الدراسات السابقة نتائج جيدة وواعدة وأثبت قدرته على تعزيز استدامة وأداء الخرسانة التقليدية الأمر الذي تطلب توسعة الدراسة لهذا الخام المحلي المتوفر بكثرة وذلك بدراسة تأثيره على الخرسانة الذاتية الدمك والعمل على تحسين وتطوير هذا النوع من الخرسانة والعمل على اختبار ودراسة عدة مواقع للبوزولانا الطبيعية من عدة

مناطق مختلفة من خلال دراسة تأثيرها على مدى مقاومة الخرسانة للضغط بعد إضافة البوزولانا من خمسة مواقع بنسب وزنية من وزن الإسمنت بغرض تحديد المواقع الملائمة والناجعة والمفاضلة بين هذه المواقع الخمسة وتحديد الموقع الأمثل من بين هذه المواقع.

### 1. أهمية الدراسة

تتناول هذه الدراسة استخدام البوزولانا المحلية بالمنطقة في إنتاج أنواع متطورة من الخرسانة ذاتية الدمك حيث أن استخدام البوزولانا له دور في تقليل استخدام الإسمنت بالتالي المحافظة على البيئة والحد من التلوث المصاحب لعملية صناعة الإسمنت. وتكمن في ذلك فوائد أيضا لنوع للخرسانة ذاتية الدمك في حالتها المتصلدة ومن هذه الفوائد المتوقعة زيادة مقاومة الضغط للخرسانة ودراسة نسب الزيادة والمفاضلة بين عدة مواقع لإستخراج البوزولانا وتحديد المواقع المثلى من بين تلك المواقع بالجنوب الليبي.

### 2. الهدف من الدراسة

1. دراسة تأثير استخدام البوزولانا المحلية على قوة مقاومة الضغط في الخرسانة الذاتية الدمك.
2. دراسة مقارنة تأثير استخدام البوزولانا المحلية من 5 مواقع بالجنوب الليبي كبديل جزئي عن الإسمنت ومدى تأثيره على خواص الخرسانة ذاتية الدمك الطرية والمتصلدة.
3. العمل على تقليل التكلفة الاقتصادية وذلك بخفض نسبة الإسمنت بالخلطة واستبدالها بالبوزولانا.
4. تحديد الموقع الأمثل من حيث الأثر الإيجابي على قوة مقاومة الضغط بين هذه المواقع الخمسة.

### 3. منهجية الدراسة

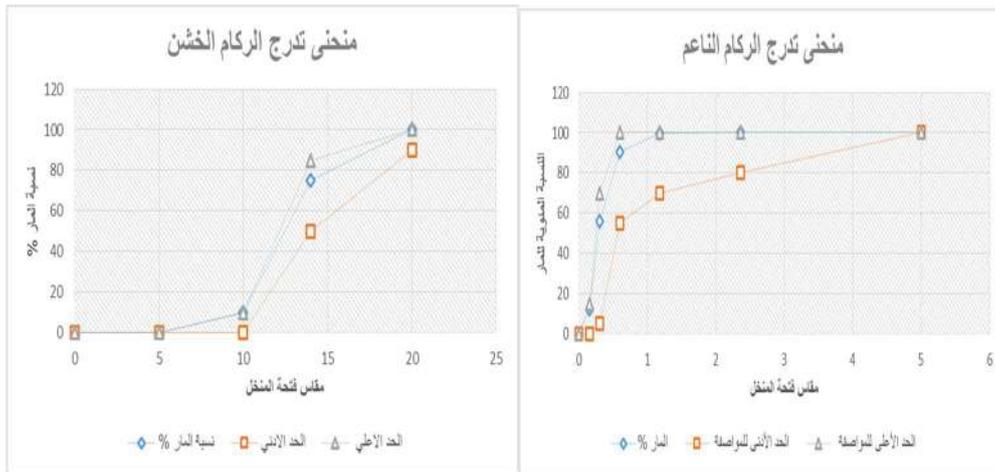
تم من خلال هذه الورقة دراسة مدى تأثر مقاومة الضغط للخرسانة الذاتية الدمك بعد إضافة البوزولانا المحلية من مناطق (العافية الشاطي؛ أقر الشاطي؛ تاروث الشاطي؛ سبها؛ تمنهنت) والمتواجدة بكثرة بهذه المنطقة حيث تم دراسة مدى تأثير البوزولانا على مقاومة الضغط بهذا النوع من الخرسانة خلال الفترات (3،7،14،28،60،90،120) يوما. وتم إضافة البوزولانا المحلية بنسب وزنية متفاوتة من وزن الإسمنت (10%، 15%، 20%) واختبار مقاومة الضغط على كل عينة.

**1.3 المواد المستخدمة: -****1.1.3 الإسمنت**

تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي من إنتاج مصنع زليتن لجميع الخلطات المستخدمة.

**2.1.3 الركام**

تم استخدام رمل طبيعي من منطقة الشاطئ زلاف كركام ناعم بعد نخله على المناخل القياسية ومطابق لمواصفات الركام الناعم حسب المواصفات القياسية الليبية [1] وتم استخدام حصى مكسر من منطقة الشاطئ كركام خشن، وبمقاس أقصى 10 ملم ومن خلال التحليل المنخلي وجد أنه مطابق للمواصفات الليبية للمواد [2]. لهذا الحجم من الركام. والشكل (1) يبين تدرج الركام الناعم والركام الخشن مقارنة بحدود المواصفات القياسية الليبية. [1]



شكل (1) منحني التدرج الحبيبي للركام الناعم والخشن

**3.1.3 الملدن المتفوق**

تم استخدام في هذا البحث مضاف مقل للماء بدرجة متفوقة أحد الملدنات الخاصة بهذا النوع من الخرسانة وهو (age1 Technohyper) [3] بنسبة 1.8% لكل الخلطات.

**4.1.3 البوزولانا المحلية**

تم استخدام البوزولانا المحلية المستخرجة من تربة (العافية الشاطيء؛ أقار الشاطيء؛ تاروث الشاطيء؛ سبها؛ تمنهنت والموضحة أماكن استجلاب العينات في الشكل أدناه) كمضاف للخلطة الخرسانية وذلك بعد نخلها على منخل 90 مايكرومتر [4] واستخدام المار منها كنسبة من وزن الإسمنت وهي من الإضافات التي يكثر استخدامها في الخرسانة لتحسين جودة الخرسانة وتحسين خواصها، وتستخدم كنسبة من وزن الإسمنت، وفيما يلي التركيب الكيميائي لعينة البوزولانا المستخدمة.

## الجدول (1) التركيب الكيميائي للطين المستخدم بالدراسة

أكاسيد	سبها	تمننت	العافية- براك	أقار	ثاروت
SiO <sub>2</sub>	63.8	67.3	59.7	59.5	60.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.2	28.1	25.9	34.1	31.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.898	1.11	7.63	2.23	1.64
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> +SiO<sub>2</sub> (المجموع)</b>	<b>95.898</b>	<b>96.51</b>	<b>93.23</b>	<b>95.83</b>	<b>14.94</b>
Mgo	0.0153	0.332	0.811	0.28	0.35
CaO	0.423	0.412	0.489	0.302	0.636
K <sub>2</sub> O	0.274	0.553	3.17	1.64	1.25
SO <sub>3</sub>	0.476	0.474	0.884	0.639	1.41
TiO <sub>2</sub>	2.78	1.65	1.32	1.51	1.44
MNo	0.0211	----	0.0199	0.0206	0.0186
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	----	----	----	----	1.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0599	0.0590	0.0701	0.0825	0.0712
SrO	0.0164	0.0072	0.0148	0.0202	0.0235



شكل (2) موقع أخذ عينات لدراسة لموقع أقار شكل (3) موقع أخذ عينات لدراسة لموقع ثاروت



شكل (4) موقع أخذ عينات لدراسة تمننت شكل (5) موقع أخذ عينات لدراسة سبها شكل (6) موقع أخذ عينات لدراسة العافية

## 4. البرنامج العملي

## 1.4 تصميم الخلطة الخرسانية

فيما يخص الخلطة الخرسانية فقد تم تصميم الخلطة باستخدام طريقة المحاولة وتم ضبط وتعديل نسب الخلط بحيث تتوافق مع المواصفة الأوروبية (EFNARC) [5] وتم تنفيذ عدد 4 خلطات بنسب (0،10،15،20) لكل موقع من المواقع الخمسة بالتالي كان العدد الكلي 15 خلطة بالإضافة للخلطة المرجعية كما هو موضح بالجدول التالي: -

الجدول رقم (2) أوزان مكونات الخلطة

كميات المواد بالخلطة الخرسانية					نسبة Pzz%	الموقع
الملدن %1.8	ماء لتر	ركام ناعم كجم	ركام خشن كجم	أسمنت كجم		
9	210	818.18	818.18	500	0%	المرجعية
9	210	818.18	818.18	450	10%	سبها
9	210	818.18	818.18	425	15%	
9	210	818.18	818.18	400	20%	
9	210	818.18	818.18	450	10%	تمننت
9	210	818.18	818.18	425	15%	
9	210	818.18	818.18	400	20%	
9	210	818.18	818.18	450	10%	العافية
9	210	818.18	818.18	425	15%	
9	210	818.18	818.18	400	20%	
9	210	818.18	818.18	450	10%	آقار
9	210	818.18	818.18	425	15%	
9	210	818.18	818.18	400	20%	
9	210	818.18	818.18	450	10%	تاروث
9	210	818.18	818.18	425	15%	
9	210	818.18	818.18	400	20%	

لقد تم إجراء بعض الإختبارات على الخرسانة وهي في حالتها الطرية لدراسة مطابقتها لمواصفات الخرسانة الذاتية الدمك وفقا للمواصفات الأوروبية للخرسانة الذاتية الدمك (EFNARC) حيث تم إجراء الإختبارات المحددة لهذا النوع من الخرسانة في حالتها الطرية لكل العينات.

## 2.4 نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة الطرية ومناقشتها

الجدول رقم (3) نتائج اختبارات الخرسانة الطرية وحدود المواصفات

نسبة المواد البوزولانية %	المضاف %	L – Box Test	V-Funnel Test sec	T50 sec	Slump flow mm	رقم الخلطة
0	1.8	0.96	10	3.2	750	1
10	1.8	0.88	7	4	720	2
15	1.8	0.89	6.2	3	700	3
20	1.8	0.7	10.3	5	652	4
/	2-0.5	1-0.8	12-6	5-2	800-650	حدود المواصفة

## 3.4 اختبارات مقاومة الضغط

أجرى الاختبار طبقاً للمواصفة البريطانية BS 1881. Part 100116:1983<sup>[6]</sup> على عينات مكعبة الشكل ذات أبعاد 100x100x100 ملم عند الأعمار 3،7،14،28،60،90،120 يوماً كدراسة لتطور المقاومة خلال الأزمنة المذكورة.

## 5. النتائج

## 1.5 نتائج اختبارات مقاومة الضغط للخرسانة الذاتية الدمك

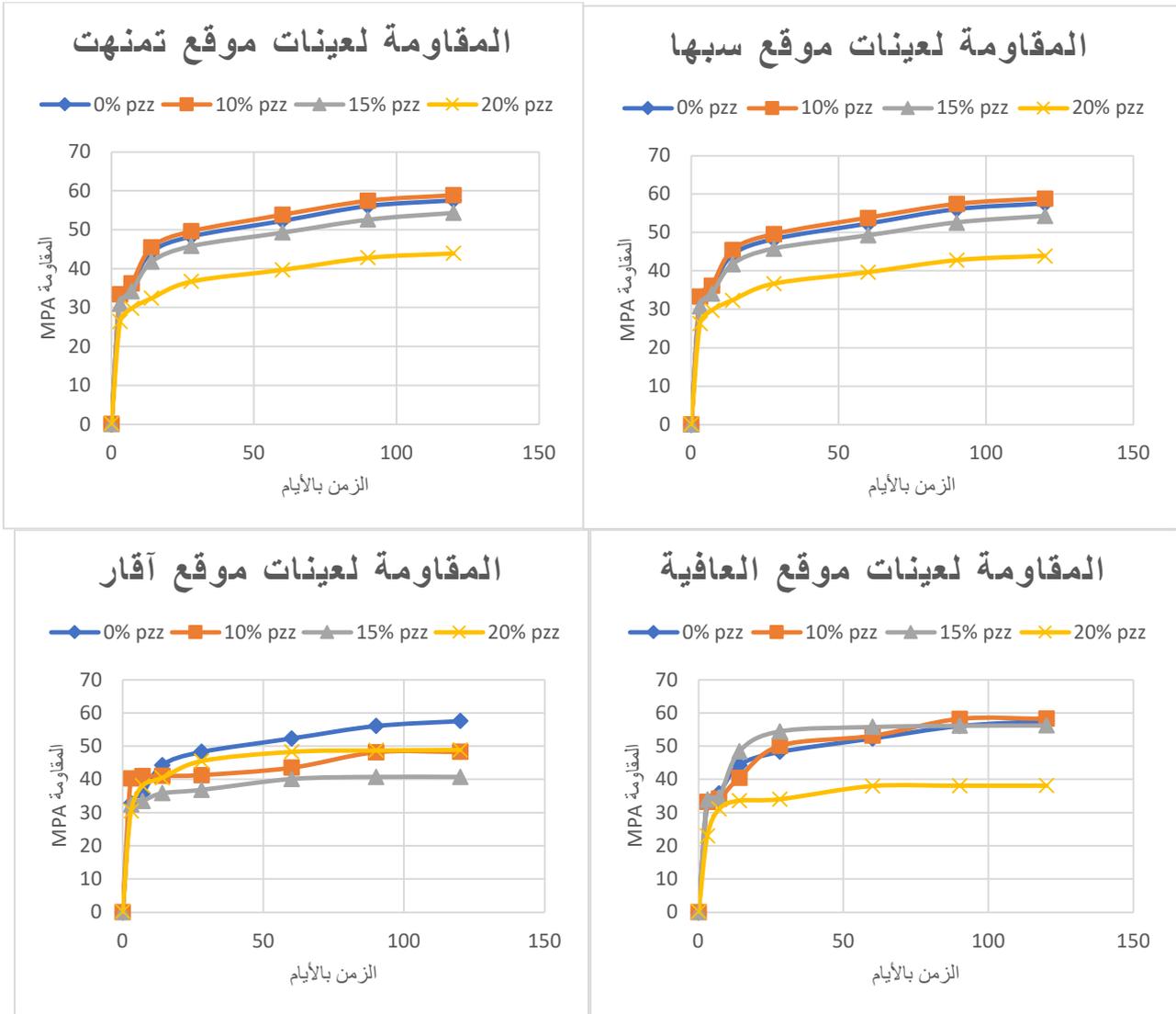
جدول رقم (4) نتائج اختبار مقاومة الضغط للمكعبات الخرسانية

متوسط مقاومة الضغط							نسبة Pzz%	العينة
120 يوم	90 يوم	60 يوم	28 يوم	14 يوم	7 يوم	3 يوم		
57.6	56.1	52.32	48.3	44.29	35.82	32.79	0%	الموقع
60.28	58.68	54.4	51.22	46.39	37.66	34.71	10%	سبها
55.12	53.7	50.6	47.43	42.09	34.52	31.27	15%	
44.75	43.25	40.92	38.81	34.27	30.18	26.84	20%	
58.89	57.46	53.86	49.63	45.51	36.22	33.43	10%	تمنھنت
54.36	52.62	49.3	45.83	41.79	34.14	30.91	15%	
43.94	42.83	39.71	36.73	32.42	29.8	26.39	20%	
58.28	58.23	53.15	50.12	40.49	34.23	33.27	10%	العافية

56.26	56.18	55.81	54.47	48.42	34.53	33.91	15%	
38.15	38.11	38.02	34.06	33.61	31.12	22.98	20%	
48.33	48.18	43.55	41.32	41.08	40.99	40.34	10%	آقار
40.77	40.78	40.14	36.88	35.88	33.55	32.47	15%	
48.89	48.76	48.33	45.53	40.49	38.12	30.53	20%	
37.53	37.21	36.18	35.65	34.01	32.69	30.87	10%	تاروث
36.19	36.12	33.33	28.69	26.12	26.01	25.14	15%	
42.88	42.85	42.8	37.97	36.79	35.12	33.86	20%	

## 2.5 مناقشة النتائج

تبين من خلال النتائج خلال الأعمار المبكرة المتمثلة في الثلاثة أيام الأولى من عمر الخرسانة أن نتائج مقاومة الضغط عند (3) أيام للخلطات الحاوية على البوزولانا بنسبة 10% من موقعي سبها وتمنهننت كانت أعلى من الخلطة المرجعية والتي صممت بدون بوزولانا لغرض المقارنة بها حيث حققت قيمة مقاومة الضغط لموقعي سبها وتمنهننت 10% تفوقا بمقدار 5.5%، 2% على التوالي عن الخلطة المرجعية. بينما كان موقع العافية براك نسبي 10% و 15% بوزولانا أكثر ارتفاعا في قيمة مقاومة الضغط منها عن قيم المقاومة للخلطة المرجعية بتفوق قدره 1.44%، 2.3% على التوالي. وكانت نتيجة إختبار مقاومة قوة الضغط لعينات الخلطة من موقع آقار الشاطئ أعلى من نظيرتها الخلطة المرجعية بمقدار 18.71% بينما كانت نسبة 15% لموقع آقار أقل مقاومة من الخلطة المرجعية بمقدار 6.45%. وأما بخصوص موقع تاروث فكانت نتائج قيمة قوة مقاومة الضغط عند عمر الثلاثة أيام الأولى أقل من الخلطة المرجعية باستثناء تلك الحاوية على عن 20% والتي لم تطابق مواصفات الخرسانة الطرية الذاتية الدمك بالأساس. وبالنظر للنتائج بشكل عام فإن نتائج اختبار قوة مقاومة الضغط في الأعمار النهائية للدراسة عند 120 يوما حققت نتائج كلا من مواقع سبها وتمنهننت والعافية تفوقا على الخلطة المرجعية الخالية من البوزولانا بمقدار 4.44%، 2.19%، 1.167% على التوالي. بينما كانت نتائج كلا من موقعي آقار وتاروث عند نفس الأعمار ونفس النسب الوزنية أقل من نظيرتها المرجعية رغم تحقيق قيمة أفضل من المرجعية عند عمر الثلاثة الأيام لموقع آقار بنسبة زيادة تقدر بـ 18.17% مما يظهر نتيجة أن الخلطة الحاوية على بوزولانا من موقع آقار تحقق قيما أعلى في الأعمار المبكرة وأقل في الأعمار المتأخرة عن نظيرتها الخلطة المرجعية وذلك بسبب زيادة نسبة الألومينات فيها عن غيرها من المواقع. وأظهرت قيم النتائج للأعمار المتقاربة أن أعلى قيمة ازدياد في قوة مقاومة الضغط للخرسانة كانت في الفترة ما بين 7 و 14 يوما حيث كانت نسبة التطور تمثل فترة زيادة المقاومة خلال عمر الخرسانة الذاتية الدمك وكانت النسبة تمثل ما بين 12 و 19% حيث كانت الأعلى من بين كل الأزمنة المدروسة لغاية 120 يوما. ولوحظ خلال زيادة المواد البوزولانية لنسبة 20% يكون لها تأثير عكسي علي المقاومة والكثافة وذلك يرجع لعدم قدرتها على المليء الذاتي للفراغات داخل الخرسانة بالتالي ضعف مقاومة الخرسانة وفيما يلي شكل يوضح العلاقة الناتجة ما بين مقاومة الضغط للخرسانة ونسبة البوزولانا وعمر العينة.



شكل (7) العلاقة بين مقاومة الخرسانة ونسبة البوزولانا وعمر العينة

## 6. الاستنتاجات

الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو ملاحظة تأثير استخدام الطين المكلس الذي تم جمعه من خمسة مواقع مختلفة في منطقتي سبها ووادي الشاطي، على شكل ميتاكولين (MK)، كمادة مضافة بوزولانية، على مقاومة ضغط الخرسانة الذاتية الدمك عند استبداله جزئياً بواسطة الأسمنت عند أربعة مستويات إحلال وهي 0.00 % بدون بوزولانا كعينة تحكم مرجعية، ونسب 10%، 15% و 20% من وزن الإسمنت.

وبناءً على النتائج التي تحصلنا عليها من هذه الدراسة، يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

1. بالإمكان الحصول على خرسانة ذاتية الدمك ضمن شروط المواصفات الأوروبية (EFNARC) باستخدام البوزولانا المحلية من منطقتي سبها ووادي الشاطي.
2. الحصول على تحسن واضح بعد استخدام البوزولانا وحيث كانت النسبة المثلى هي 10% حيث حققت كل شروط المواصفة فيما يخص الخواص الطرية للخرسانة الذاتية الدمك وكذلك أظهرت نتائج متفوقة في مقاومة الضغط.

3. حدوث نتائج عكسية في كلا من اختبارات الخرسانة الطرية والمتصلدة عند زيادة نسبة البوزولونات بالخلطة الخرسانية وذلك ظهر جليا عند اختبارات النسبة 20% من وزن الإسمنت.
4. من خلال النتائج فإن فترة قوة الخرسانة الذاتية الدمك لجميع الخلطات تكون في الفترة ما بين 7 و14 يوما.
5. إن موقعي سبها وتمننت من أفضل المواقع نتائجاً وملائمة لمتطلبات الخرسانة الذاتية الدمك حيث حققت أعلى قيم لمقاومة الضغط عند أعمار 120 يوما.

### 7. التوصيات

بناء على ما استنتجنا وتوصلنا إليه في هذه الدراسة نوصي بالآتي:

1. دراسة المزيد من أنواع البوزولانا المحلية المتوفرة بالجنوب الليبي على الخرسانة الذاتية الدمك.
2. دراسة بقية الخصائص للخرسانة المتصلدة على نفس النوع من البوزولانا ومدى تأثيرها على النفاذية والمسامية ومقاومة هجوم الكبريتات والتآكل وتأثيرها على بقية خصائص الخرسانة.
3. دراسة تأثير نعومة البوزولانا بقيم مختلفة على نوعية الخرسانة الذاتية الدمك ومدى التغيير في خصائصها.

### 8. الخاتمة

في ختام هذه الدراسة نرجو أن تكون هذه الدراسة إشارة لأهمية أحد الثروات الطبيعية المتوفرة بالوطن الليبي وأهمية الاستفادة من هذه الخامات لما لها من أثر بيئي واقتصادي وتحسن ملحوظ في تطوير الخرسانة الذاتية الدمك لمقاومتها للضغط بعد استبدال نسب وزنية من البوزولانا بدلا من الإسمنت حيث أن النتائج بهذه الدراسة توضح مدى التطور الحاصل بالأرقام والقيم التي تم الحصول عليها بواسطة اختبارات دقيقة وبعناية في اختيار نسب وكميات المواد وكذلك طرق الاختبارات.

### 9. المراجع

1. المواصفة القياسية الليبية رقم 252 "ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية - طريقة إجراء التحليل المنخلي.
2. المواصفات القياسية الليبية رقم (49) ركام الخرسانة من المصادر لطبيعية 20002.
3. النشرة الفنية لمادة الملدن المتفوق (agel -Technohyper لسنة 2022).
4. أحمد نصر الفتحي المشرف عبد السلام عكاشة (الخرسانة ذاتية الدمك باستخدام البوزولانا المحلية) جامعة وادي الشاطئ براك الشاطئ ليبيا رسالة ماجستير 2023-2024 -الصفحة 48
5. EFNARC, " Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete", February.
6. British Standard Institution, "BS 1881: Testing Concrete, Part 116: Method for determination of compressive strength of concrete cubes", London, 1983.

## تأثير النعومة على خصائص المونة البوزولانية

أ. محمد عبدالسلام المبروك عكاشة

باحث بقسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة وادي الشاطئ

Maakasha96@gmail.com

## المخلص:

تعتبر البوزولانا من المواد التي يستهدف دائما أضافتها كبديل جزئي للإسمنت والذي يعتبر المكون الرئيسي والمادة الرابطة في المونة البوزولانية والخرسانة ، وتنقسم البوزولانا الى قسمين القسم الاول الطبيعي والثاني صناعي ، وتتميز منطقة الجنوب الليبي بامتداد الرقعة الجغرافية الصحراوية التي تتميز بوفرة الثروات الطبيعية التي تدخل في صناعة مواد البناء ، من أبرزها الطين المكلس أو ما يعرف بالبوزولانا الطبيعية ، حيث أشارت العديد من الدراسات الى وجودها بشكل كبير حول منطقة سبها وضواحيها ، إضافة لمطابقتها للمتطلبات ، ويمكن استخدام تلك المواد كإضافات للخرسانة لغرض تحسين بعض خواصها او جلاها من جهة وتقليل تكلفة انتاجها. والمواد البوزولانية أو ما يعرف بالمواد متأخرة التفاعل هي عبارة عن خامات ألومنيه أو سليكاتية أو خليط من كليهما، هذه المواد لا تمتلك قدرة لاصقة اسمنتية، ولكن بوجود الرطوبة فإنها تتفاعل كيميائيا مع هيدروكسيد الكالسيوم الذي ينتج من تفاعل مركبات الاسمنت البورتلاندي (خاصة عالي الاليت) في درجات الحرارة الاعتيادية، منتجة مركبات ذات خصائص اسمنتية. وتعتبر دراسة النعومة من الأشياء الهامة لدراسة ترابط المونة لما في ذلك من زيادة فعالية المادة الرابطة وباستخدام بوزولانا عالية النعومة فان هذا التأثير يزداد ويصبح واضحا.

يهدف هذا البحث الى دراسة تأثير نعومة البوزولانا الطبيعية (الطين المحروق) على خصائص المونة البوزولانية بعد حرقها الى درجات حرارة تتراوح من 700-800 درجة مئوية وطحنها للوصول الى النعومة المطلوبة بعدة درجات (المار من منخل 90 (ناعم) المحجوز على منخل 90 (متوسط) المحجوز على منخل 150 (خشن) ومن تم أضافتها كبديل جزئي للإسمنت بنسبة 5%، 10%، 15%، 20% ومن تم دراسة خواصها في حالتها الطرية والمتصلدة.

الكلمات الدالة: البوزولانا، المونة البوزولانية، النعومة

## 1. المقدمة

تعتبر البوزولانا من المواد التي يستهدف دائما أضافتها الى الاسمنت والذي يعتبر المكون الرئيسي والمادة الرابطة في المونة البوزولانية أو الخرسانة وتنقسم البوزولانا الى قسمين القسم الاول الطبيعي والقسم الثاني ناتج ثانوي للصناعة ، وتتميز منطقة الجنوب الليبي بامتداد الرقعة الجغرافية الصحراوية التي تتميز بوفرة الثروات الطبيعية التي تدخل في صناعة مواد البناء ، من أبرزها الطين المكلس أو ما يعرف بالبوزولانا ، حيث أشارت العديد من الدراسات الى وجودها بشكل كبير حول منطقة سبها وضواحيها ، إضافة لمطابقتها للمتطلبات ، ويمكن استخدام تلك المواد كإضافات للخرسانة لغرض تحسين بعض خواصها او جلاها من جهة وتقليل تكلفة انتاجها . والمواد البوزولانية أو ما يعرف بالمواد متأخرة التميؤ هي عبارة عن خامات ألومنيه أو سليكاتية أو خليط من كليهما، هذه المواد لا

تمتلك قدرة لاصقة اسمنتية، ولكن بوجود الرطوبة فإنها تتفاعل كيميائياً مع هيدروكسيد الكالسيوم الذي ينتج من تفاعل مركبات الاسمنت البورتلاندي (خاصة عالي الاليت) في درجات الحرارة الاعتيادية، منتجة مركبات ذات خصائص اسمنتية. تعتبر البوزولانا من المواد التي يستهدف دائماً اضافتها الى الأسمنت والذي يعتبر المكون الرئيسي والمادة الرابطة في المونة البوزولانية او الخرسانة وتتقسم البوزولانا الى قسمين الطبيعي منها والصناعي ، ويعتبر أحد الخامات المحلية الهامة والمتوفرة بشكل كبير بمناطق جنوب ليبيا هي الطينات بمختلف أنواعها ، فتنوع التركيب الكيميائي والمعدني لها والذي يعتمد أساسا على بيئة التكوين مما يجعلها هدفا بحثيا في هذا الاتجاه كأحد أنواع البوزولانا الطبيعية مقارنة ببعض الأنواع المتوفرة صناعيا ، في هذا البحث سيتم أخذ بوزولانا الى عدة درجات نعومة ، وأضافتها بنسب معينة للمونة الاسمنتية ، ومن تم إجراء بعض الدراسات التطبيقية على تلك البوزولانا المستخدمة في صورة مونة إسمنتية ، وذلك بهدف الاستفادة من المواد البوزولانية الطبيعية والمتوفرة محليا في تحسين خواص الخرسانة الطرية والجافة من جهة وتقليل تكلفة المتر المكعب الواحد من جهة أخرى . وقد أشارت تلك الدراسات الى توفر العديد من الخامات الاولية التي تدخل في صناعة مواد البناء ومن أهمها الطينات حيث تتوفر وبشكل كبير حول منطقة سبها وضواحيها ، وبناء على تلك الدراسات فقد تم التفكير في إمكانية عمل دراسة على تلك الطينات أو ما تعرف بالبوزولانا بغرض استخدامها كجزء من الأسمنت في المونة البوزولانية ، وفي السابق تم استخدام مثل تلك الطينات أو ما يعرف بالبوزولانا الطبيعية في عدد من الدول في المونة البوزولانية كجزء من كمية الاسمنت المطلوبة في الخلطة ، وقد أثبتت نجاحها وتحسينها لخواص الخرسانة الطرية والجافة . البوزولانا هي عبارة عن مواد سيلكاتية والتي بنفسها لا تعطي خواص المواد الإسمنتية ، ولكن تتفاعل في وجود الماء عند درجة الحرارة العادية مع هيدروكسيد الكالسيوم لتعطي خواص المواد الإسمنتية ،البوزولانا يمكن أن تكون طبيعية أو صناعية ، (fly ash) أحد الأنواع الصناعية المعروفة عالميا ، عند اضافتها للمونة الإسمنتية كجزء من الاسمنت تعطي عدة مميزات منها : تحسين تشغيلية المونة وتقلل انفصال المكونات ، كما ترفع من أداء مقاومة الخرسانة لهجوم الكبريتات وتفاعل القلويات مع السايكا وتقلل من حرارة التفاعل ، بالإضافة الى ذلك كله فإن استعمال البوزولانا وخاصة المحلية في الخرسانة يقلل من تكلفة الاقتصادية (1).

في هذه الدراسة تم عمل عدد من خلطات المونة البوزولانية المضاف اليها مقادير مختلفة من البوزولانا الطبيعية المستخرجة من مناطق جنوب ليبيا، بعد معالجتها حراريا وطحنها واستخدامها بنسب محددة كبديل جزئي للإسمنت البورتلاندي العادي، وذلك لدراسة ومعرفة مدى تأثير تلك المواد على مقاومة الضغط للمونة الاسمنتية

## 2. نعومة البوزولانا:

يعد مقياس نعومة الاسمنت عاملا هاما يؤثر على مدي تفاعل الاسمنت مع الماء، وذلك لان مجموع مساحة السطوح لوزن معين من عينة الاسمنت، ذات درجة نعومة معينة تكون أكبر من مجموع مساحة السطوح لنفس الوزن من هذا الاسمنت، دي درجة النعومة الاقل. وعلى ذلك فمعدل تفاعل الماء مع عينة الاسمنت الناعم يكون الأكبر من هذا المعدل بالنسبة للإسمنت دي النعومة الاقل، هذا بالإضافة الى أن عملية التصلد للإسمنت الناعم تكون أسرع منها في الاسمنت الخشن، وأبعد من ذلك، فان اتمام عملية التفاعل مع الماء تتوقف الى حد كبير على حجم حبيبات الاسمنت. فالقلب الداخلي للحبيبات الخشنة من الاسمنت قد يأخذ سنوات للتفاعل مع الماء تحت الظروف العملية ، وقد يصل الأمر الى أن هذه الحبيبات الخشنة قد لا تتفاعل إطلاقا مع الماء ، ومن هنا نرى أن نعومة الأسمنت تؤثر على خواص الطبيعية للمادة الناتجة فكلما كانت حبيبات الأسمنت ناعمة كلما أمكنها تغطية المواد الخشنة من زلط ورمال وبالتالي تتصف العجينة الناتجة عن ذلك بالقوة ، وزيادة على ذلك فإن نعومة الأسمنت تعمل على سرعة تفاعل حبيباته

مع الماء فتكون ظروف تكوين البلورات الاسمنتية متقدمة وسريعة وحينئذ تزيد قيمة المقاومة النهائية للنتائج بالإضافة الى ما ينتج عن سرعة تكوين البلورات من الحصول على المقاومة المبكرة (4). والاتجاه الحديث في إنتاج الاسمنت ومنذ عدة سنوات هو طحن الاسمنت الى درجة كبيرة من النعومة للحصول على أكبر قوة في وقت متقدم، ومن التجارب العديدة وجد ان الحبيبات ذات نعومة تصل الى ان تمر من منخل 170 (0.09م) هي التي تتفاعل مع الماء لتعطي قوة كبيرة الى الخرسانة. وتؤثر النعومة الاسمنت على ثبات حجمه وذلك لان تمدد بعض العناصر الموجودة في الحبيبات الكبيرة لن تكون تحت تأثير التغيرات الجوية التي تعمل على تكملة تفاعل الحبيبات الناعمة التي تتصف بالثبات وكذلك تؤثر نعومة الطحن الى حد كبير على قابلية تشغيل الخرسانة، فدرجة النعومة الكبيرة تحسن من تماسك خلطة الخرسانة، وتعمل على إنقاص كمية الماء التي تنفصل على سطح الخلطة والتي تعرف باسم النضح. تقلل نعومة الاسمنت من هذه الظاهرة (6) .

### 3. المواد المستخدمة:

1. الأسمنت: هو اسمنت منتج من قبل مصنع زليتن (الاتحاد) أسمنت بورتلاندي عادي.
2. البوزولانا: البوزولانا المحلية المستخرجة من موقعين طين سبها وتمنعت كمضاف للخلطة الخرسانية وهي من الاضافات التي يكثر استخدامها في الخرسانة لتحسين جودة الخرسانة وتحسين خواصها، وتستخدم كنسبة من وزن الإسمنت
3. الماء: ماء الشرب العادي المستعمل في هذه الدراسة (منطقة البوانيس / سمنو) في جميع الخلطات الخرسانية وهو مطابق للمواصفات.
4. الرمل: منطقة براك الشاطئ (زلاف) وكان المحجوز على منخل 600 (رمل قياسي).

### 4. النتائج ومناقشتها:

درجات نعومة البوزولانا المعتمدة في البحث:

•	البوزولانا المارة من منخل 90	ناعم	A
•	البوزولانا المحجوزة على منخل 90	متوسط النعومة	B
•	البوزولانا المحجوزة على منخل 150	خشن	C

### 1.5 الانسيابية

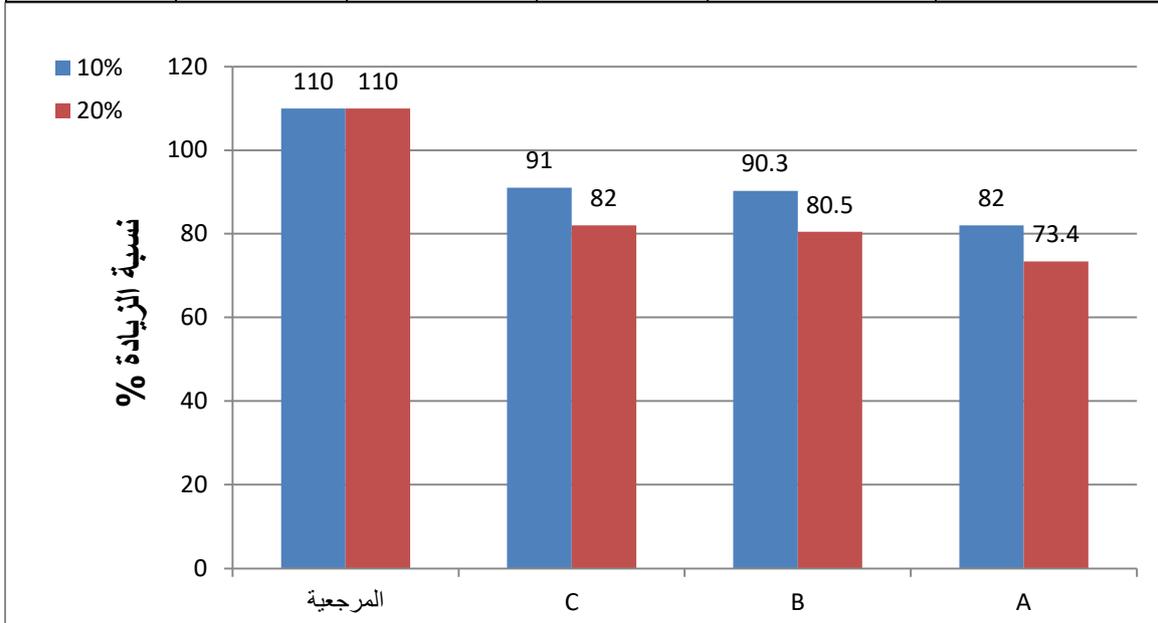
من خلال تجربة الانسياب وجدنا وبشكل واضح أن اضافة مادة البوزولانا تعمل على تغيير لزوجة الخلطة وتخفيض تشغيليتها ويتعلق ذلك بنسبة البوزولانا المضافة ودرجة نعومتها، فزيادة نعومة البوزولانا المستبدلة تنخفض التشغيلية ويزداد تماسك العينة، وتقل امكانية فصل المكونات.

جدول (1) العلاقة بين قوام الخلطة والانسحاب

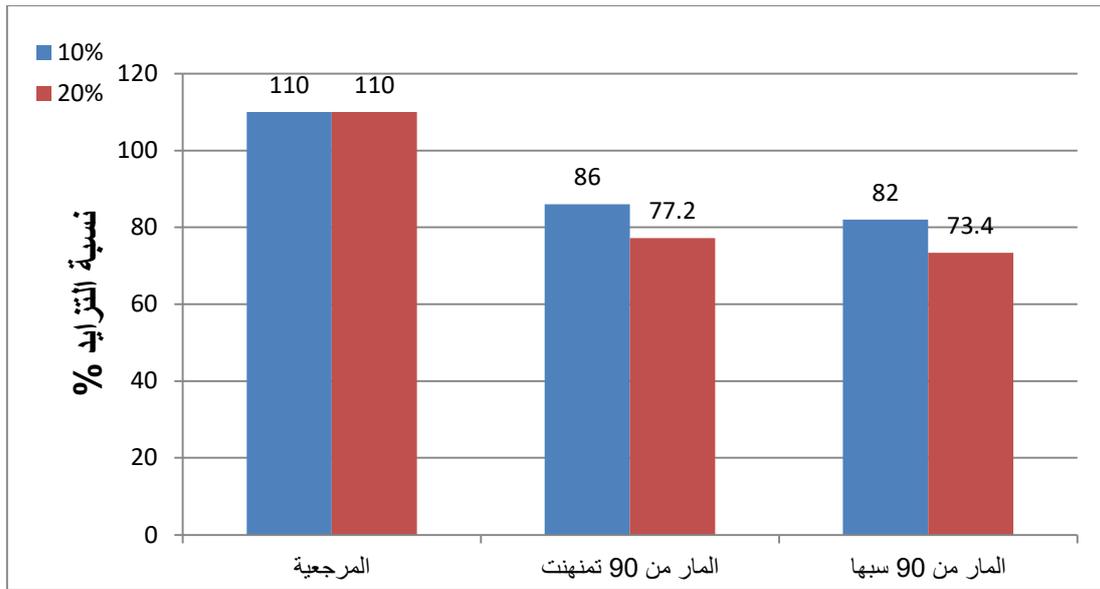
النسبة المئوية للانسحاب	20 - 0	60 - 15	100 - 50	120 - 90	150 - 110
قوام الخلطة الخرسانية	جاف	صلب	لدن	مبتل	رخو

جدول (2): نسبة الانسيابية للعينات

الخلطة المستخدمة	الخلطة المرجعية	المار من 90 منخل	المحجوز على 90 منخل	المحجوز على 150 منخل	المار من 90 منخل
		سبها			
النسبة المئوية %	110	73.4	80.4	80.3	77.2



شكل (1) النسب المئوية لمعامل الانسياب للخلطات المستخدمة



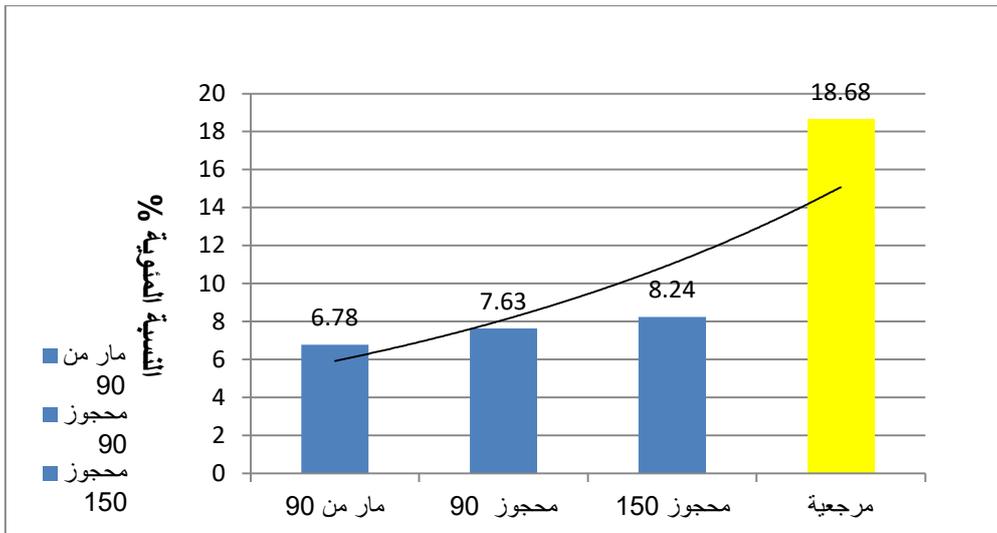
شكل (2) النسب المئوية لمعامل الانسياب لعينة سبها وتمنهنت

## 2.5 نسبة الامتصاص:

أن هذه المؤثرات تتفاعل لتعطي ناتجا واضحا بأن كمية الفراغات الناتجة من تفاعل الاسمنت الكامل بنسبة 100% تكون أكبر من كمية الفراغات عند إضافة البوزولانا، وان درجة المسامية تقل بزيادة استخدام البوزولانا الى حد الاقصى الذي يعبأ الفراغات ويحول مادة هيدروكسيد الكالسيوم الى مادة سيليكات الكالسيوم المائية (الغير منحلة بالماء). وقد بدأ من خلال هذه التجربة صحة هذا التوقع حيث كان امتصاص المونة البوزولانية الغير حاوية على بوزولانا أكبر بمرتين من المونة الحاوية على بوزولانا وتتغير نسبة الامتصاص بتغير نعومة البوزولانا (بزيادة النعومة يقل الامتصاص) انظر الشكل (3).

جدول (3) نسب الامتصاص لعينات سبها

وزن العينة رطب بـ g			
الموجزة على منخل 150	الموجزة على منخل 90	المار من منخل 90	المونة المرجعية
279	275	280	273
وزن العينة جاف بـ g			
256	254	261	222
نسبة الامتصاص %			
% 8.24	% 7.63	% 6.78	% 18.68



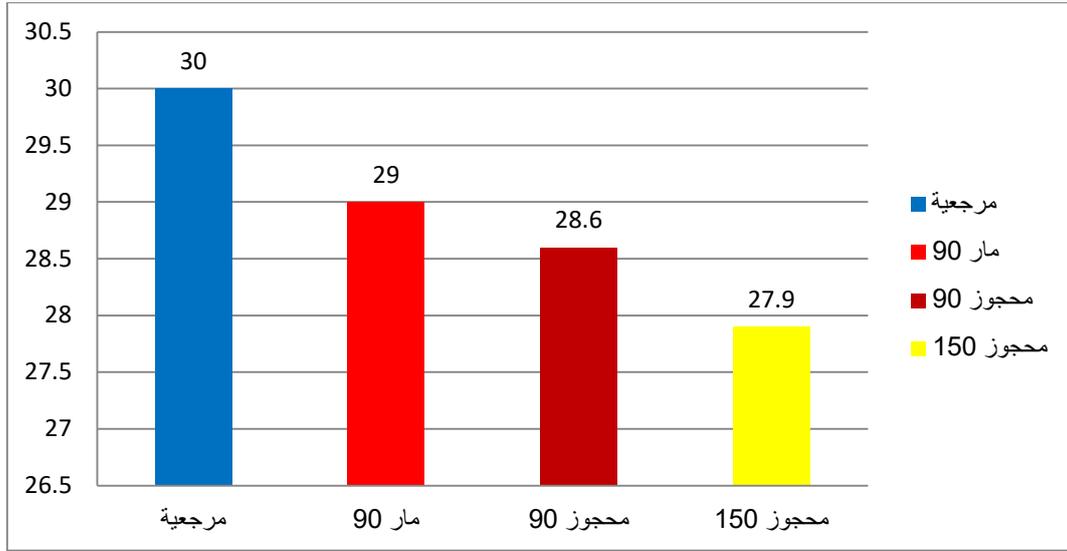
شكل (3) نسبة الامتصاص للعينات المختلفة

## 3.5 درجة الحرارة

أن درجة حرارة تفاعل بين الاسمنت والماء تتعلق بمكونات الاسمنت والعناصر المركبة له فيمكن ان تكون عالية في الاسمنت عالي الاليت وتكون بطيئة في الاسمنت عالي البيليت , أن هذه الظاهرة لها أثر سلبي في صناعة الكتل الخرسانية , حيث تنشأ حرارة عالية باستخدام الاسمنت عالي الاليت , تؤدي الى خروج ماء الخلط والتشكل الغير متوازن للكتلة وتشقق داخل الكتلة ( كتل خرسانية كبيرة ) , أما في العناصر الصغيرة كالأعمدة والاسقف فأن هذه الظاهرة تكون أقل ( كمية خرسانة قليلة ) , باستخدام مادة البوزولانا تنتقل من حالة الاسمنتات سريعة التصلب عالية درجة الحرارة الى خرسانة بطيئة التصلب بطيئة فرز درجات الحرارة مما يؤدي الى توازن في تصلب الكتلة وعدم وجود تشققات نتيجة ارتفاع درجات الحرارة , بالعودة الى التجربة نجد بشكل واضح انخفاضاً في فرز درجات الحرارة في المونة البوزولانية بشكل واضح ويتعلق فرز الحرارة بدرجة نعومة البوزولانا المستخدمة , حيث أنه بزيادة النعومة يزداد فرز الحرارة , وبزيادة خشونتها يقل فرز الحرارة يعود هذا الى مساحة سطح النوعي للبوزولانا المتفاعلة مع الماء بزيادة السطح النوعي يزداد التفاعل , أنظر شكل (4) .

جدول (4) يوضح درجات الحرارة بالدرجة المئوية C°

الزمن	5 دقائق	10 دقائق	15 دقائق	20 دقيقة
مرجعية	29	29.4	29.8	30
مار 90	28.5	28.7	28.9	29
محجوز 90	28	28.2	28.4	28.6
محجوز 150	27	27.3	27.6	27.9
تمننت	28.4	28.6	28.8	29



شكل (4) درجات الحرارة للخلطات المستخدمة عند 20 دقيقة

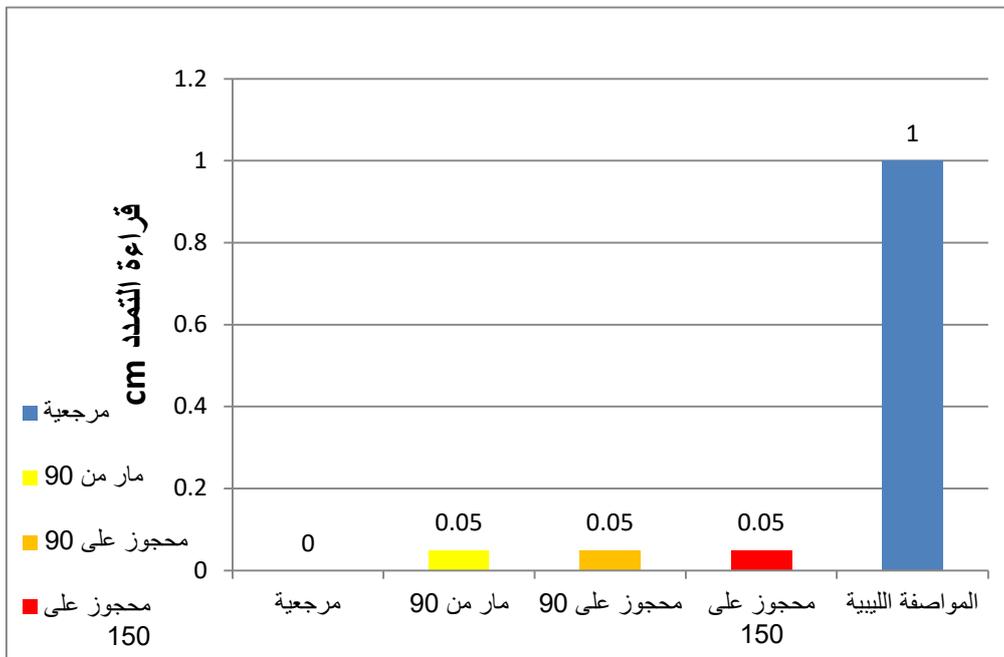
#### 4.5 ثبات الحجم (التمدد) للإسمنت بطريقة لوشاتليه: -

خاصية ثبات الحجم للإسمنت هو مقدار التغير غير الضار في حجم عينة الإسمنت المتصلدة نتيجة الإماهة المتأخرة لأكسيد الكالسيوم الحر أو أكسيد الماغنسيوم. ونتيجة للآثار المترتبة على عدم ثبات الحجم للإسمنت فقد حددت المواصفات القياسية اختبار تقدير ثبات الحجم للإسمنت (التمدد) بطريقة لوشاتليه لوضع حدود القبول أو الرفض المسموح بها لخاصية ثبات الحجم للإسمنت.

عند دراسة حالة التمدد اخذنا عينة من الاسمنت الصافي كمقارنة وتم اجراء تجربة ( لوشاتليه ) ثم استبدله كمية الاسمنت بكمية بوزولانا فعالة ذات نعومة عالية ( مار من منخل 90 ) بنسبة 20% النسبة القصوى للاستبدال كحد أقصى لملاحظة ظاهرة الانتفاخ الحاصلة في العينة ومقارنتها بالمواصفات الليبية , تبين ان قيمة التمدد الحاصل في الحالة 100% اسمنت وعند استبدال 20% من قيمة الاسمنت بمادة البوزولانا الناعمة ليس له أثر سلبي على التمدد حيث أن قيمة التمدد لم تتجاوز 0.05 mm والمواصفة الليبية تحدد كحد أقصى للانتفاخ , وعليه فأن اضافة البوزولانا كبديل للإسمنت لا تؤثر بشكل سلبي على كمية التفاعلات التي تؤدي الى انتفاخ العينة بل على العكس من ذلك فأنها تبطئ تفاعل السريع , وتعمل على حفاظ توازن الحرارة في الكتلة الاسمنتية .

الجدول (5) يوضح قراءات التمدد للخلطات المستخدمة

المواصفة اللببية	محجوز 150	محجوز 90	المار من 90	المرجعية	
	2.5	1.6	1.5	1.3	القراءة الاولى cm
	3	1.9	1.8	2	
	2.1	2.1	2	2	
	2.8	2.4	2.2	2.6	
	2.55	1.65	1.55	1.3	القراءة الثانية cm
	3.05	1.95	1.85	2	
	2.15	2.15	2.05	2	
	2.85	2.45	2.25	2.6	
	0.05	0.05	0.05	0	فرق القراءات قبل وبعد التسخين
	0.05	0.05	0.05	0	
	0.05	0.05	0.05	0	
	0.05	0.05	0.05	0	
1	0.05	0.05	0.05	0	متوسط فرق القراءات



الشكل (5) التمدد للخلطات المستخدمة

## 6. الخلاصة:

تتأثر الخواص الميكانيكية للمونة الإسمنتية بإضافة البوزولانا كبديل جزئي للإسمنت وخاصة إذا كان البوزولانا المستبدل ذات درجات نعومة عالية لزيادة كمية التفاعل الحاصل بين البوزولانا وبين هيدروكسيد الكالسيوم الذي يعتبر اساسي في تفاعل الايليت مع الماء. من خلال النتائج المتحصل عليها في هذه الورقة التوصل الى النقاط التالية:

1. بزيادة نعومة الاسمنت تزداد فعالية المادة اللاصقة وينطبق ذلك على زيادة نعومة البوزولانا المستبدلة.
2. لا تظهر نتائج استبدال البوزولانا للإسمنت إلا بعد 60 يوم من تاريخ الصب وأكثر من ذلك.
3. لتركيبية البوزولانا الكيميائية أثر واضح في تحسين خواص المونة البوزولانية.
4. تأثير المواد البوزولانية على المونة البوزولانية لا يظهر بشكل جلي الأ بعد فترة من تاريخ الصب ويرجع السبب في ذلك الى التفاعل البوزولاني الذي يتم مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من تفاعل الإسمنت مع الماء

## 7. التوصيات:

1. دراسة تأثير النعومة على فترات متباعدة من الزمن من عمر المونة البوزولانية.
2. التأكيد على التركيب الكيميائي للبوزولانا واحتوائها على نسب عالية من أكاسيد السليكا والألومنيوم والحديد.
3. نوصى باستخدام نسب أحلال ما بين 15 - 20% للبوزولانا الطبيعية من مواقع الدراسة.
4. نوصى بدراسة مدى تأثير درجة نعومة البوزولانا على متانة المونة البوزولانية.
5. نوصي بزيادة البحث في مجال استبدال البوزولانا بالإسمنت لما في ذلك من وفر اقتصادي في صناعة المواد الاسمنتية.

## 8. المراجع:

14. أ. د. عبد الرحمن مجاهد أحمد، الجزء الاول، دليل المهندس الانشائي لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية تاريخ النشر 2000، جامعة اسيوط مصر.
15. أ. د. عبد الرحمن مجاهد أحمد، الجزء الثاني، دليل المهندس الانشائي لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية، سنة النشر 2001، جامعة اسيوط مصر.
16. أ. د. ابراهيم علي الدرويش والنكتور علي ابراهيم الدرويش، الجزء الاول، الخرسانة موادها وصناعتها وخواصها وضبط جودتها وترميمها، جامعة الاسكندرية مصر.
17. أ. د. عبد السلام المبروك عكاشة، تكنولوجيا الخرسانة، الطبعة الأولى، منشورات جامعة سبها، سنة النشر 2013.
18. د. أحمد علي العريان، والدكتور عبد الكريم محمد عطا، تكنولوجيا الخرسانة، الجزء الاول، الطبعة الثانية، دار عالم الكتب، سنة النشر 2007، جامعة القاهرة مصر.
19. محمد اسماعيل عمر، الاسمنت صناعته وخصائصه، جامعة القاهرة، سنة النشر 2004.

## متانة الخرسانة ذاتية الدمك لهجوم الكبريتات باستخدام البوزلانا المحلية

م. مسعود عبدالكريم عمر سالم<sup>1</sup>، أ.د. عبدالسلام المبروك عكاشة<sup>2</sup>

1,2 جامعة وادي الشاطئ. كلية الهندسة، براك، ليبيا

masouds324@gmail.com

## الملخص:

الخرسانة الأسمنتية هي أكثر مواد البناء استخداماً نظراً لأدائها المرضي في متطلبات القوة ولكن عندما يتعامل المرء مع جوانب المتانة للخرسانة، فإن الهجوم الكيميائي الذي ينتج عنه تغيير الحجم وتشقق الخرسانة وما يترتب على ذلك من تدهور الخرسانة يصبح جزءاً مهماً من المناقشة. تتفاعل أيونات الكبريتات مع منتجات الأسمنت المائي هو تفاعل زيادة الحجم ويشار إليه على أنه هجوم الكبريتات على الخرسانة. يعتبر هجوم الكبريتات أحد أكثر التدهورات البيئية خطورة التي تؤثر على متانة المنشآت الخرسانية على المدى الطويل.

يتناول البحث دراسة متانة الخرسانة ذاتية الدمك لهجوم الكبريتات باستخدام البوزلانا المحلية (الميتاكاولين) تم تصميم خلطة خرسانية ذاتية الدمك استناداً لمواصفات القياسية الأوروبية (EFNARC) هذه الخلطة الخرسانية الطرية جرى فحصها بفحوصات متعددة لقابلية التشغيل مثل: انسياب المخروط وزمن الانسياب والقمع على شكل V و الصندوق على شكل L وفي هذا البحث سوف يتم تقييم تأثير هجوم الاملاح الكبريتية الخارجية على متانة الخرسانة بعد إضافة البوزلانا المحلية من منطقة تمنهنت التي تمت معالجتها حرارياً لمدة ساعتان في درجة حرارة 800 درجة مئوية وطحنها وتمريرها من (منخل 90 ميكرومتر) والمتواجدة بكثرة بهذه المنطقة حيث يتم اختبار الخصائص الهندسية علي كل عينة وبعد ذلك يتم دراسة تأثير هجوم الكبريتات على الخرسانة وأيضاً مدى تأثير هذا النوع من البوزلانا على الخرسانة المتصلدة وذلك بدراسة تأثيرها على المتانة. وسوف يتم إضافة البوزلانا المحلية وذلك من موقع تمنهنت وبنسب متفاوتة من وزن الأسمنت (0%، 10%، 15%، 20%) في كل خلطة خرسانية من خلال متابعة التغيرات الحاصلة على مقاومة الضغط النماذج الخرسانية والمغمورة بشكل كلي ومستمر خلال فترة الغمر في محلول كبريتات الماغنسيوم بنسبة تركيز 5% بأعمار مختلفة (60-90-120-150) يوم وبعد ذلك ملاحظة النتائج من خلال فقدان الكتلة ومقاومة الضغط للعينات والتغيرات التي تحصل أثناء فترة الاختبار.

أظهرت نتائج التجارب أن نسبة الأستبدال (10% بوزلانا) من وزن الأسمنت هي نسبة الأستبدال الأمثل لمتانة الخرسانة ذاتية الدمك لهجوم الكبريتات.

الكلمات المفتاحية: خرسانة ذاتية الدمك، الملدن الفائق، الميتاكاولين، هجوم الكبريتات

## مقدمة

متانة الخرسانة هي قدرة الخرسانة على مقاومة الهجوم الواقع عليها من البيئة المحيطة بها خلال فترة حياتها التشغيلية. ومتانة الخرسانة تعتمد بشكل كبير على حجم الفراغات داخل الخرسانة ونفاذيتها وبالتالي كلما قلت النفاذية الخرسانة كلما كانت متانة

الخرسانة أفضل. وبالتالي منع أو تقليل نفاذ الغازات والسوائل الى داخل الخرسانة التي من شأنها قي حال نفاذها الى الأضرار بمتانة الخرسانة [1] فقد زاد استخدام الاسمنت المخلوط لتوافق توصيات المواصفات لمقاومة الخرسانة للأوساط العدوانية والهجومية على الخرسانة [2].

إن استخدام الخرسانة ذاتية الدمك (SCC) في أعمال التشييد قد ازداد بصورة مطردة في السنين الأخيرة كبديل عن استخدام الخرسانة العادية وذلك لقابلية التشغيل العالية التي يتميز بها دون حدوث أي انفصال أو نزف وملئ الفراغات مهما كانت كثافة التسليح بالإضافة الى الميزات الأخرى التي يتميز بها الخرسانة ذاتية الدمك بالمقارنة مع الخرسانة العادية فهي تؤمن خرسانة ذات جودة عالية مع تخفيض في تكاليف التشييد المتعلقة بالعمالة اللازمة لصب الخرسانة ورج الخرسانة بالإضافة الى التخفيض من الآثار البيئية الناجمة عن عملية رج الخرسانة والتخفيض من الزمن اللازم لأعمال التشييد وغيرها[3].

يعتبر هجوم الكبريتات من أشد الأوساط ضرراً للخرسانة وتعتمد شدة التدهور على الخواص الكيميائية للتربة و للمياه الجوفية وتركيب ماء البحار وتركيز محلول الكبريتات أو أبخرته. و يعزا هجوم الكبريتات التي تتواجد في الغالب على شكل كبريتات الكالسيوم و الصوديوم والبوتاسيوم و الماغنسيوم الى تفاعل هذه الكبريتات مع هيدروكسيد الكالسيوم و هيدرات الومينات الكالسيوم منتجات إماهة الاسمنت و يتكون نتيجة هذا التفاعل الجبس (Gypsum) و الاترينجات (Ettringite) و هذه المواد تشغل حجماً أكبر من حجم المواد المكونة لهما(1.2 - 2 مرة) و بذلك تولدان ضغطاً داخلياً بالخرسانة يؤدي ألي تمددها و انتفاخها و بالتالي الي تشققها و تشظيها و هذا يؤدي الي تدهور الخرسانة و ربما انهيارها حيث تزيد نفاذية الخرسانة و يتأكل حديد التسليح كنتيجة لذلك[4]. أن التفاعلات الكيميائية لهجوم الكبريتات هي عمليات معقدة تعتمد على العديد من المتغيرات منها تركيز أيونات الكبريتات, الحرارة المحيطة, نوع الأسمت و تركيبه , نسبة الماء للأسمت, و وجود مواد بوزلانية مخلوطة جزئياً بالخلطة الاسمنتية او الخرسانية , و رغم ما جاء ببعض الأبحاث من ان استعمال نسبة منخفضة للماء للأسمت و استخدام الإضافات (Admixture) من الإجراءات الفعالة لحماية الخرسانة من التدهور الناجم عن هجوم الكبريتات إلا أن كل المواصفات و الكودات الحديثة توصي باستخدام المواد البوزلانية في الاوساط العدوانية على الخرسانة بسبب وجود الكبريتات في التربة أو الماء , و لذلك فقد زاد الاهتمام مؤخراً باستغلال هذه المواد البوزلانية الطبيعية و من بينها مادة الكاولينه (Metakaolin) و ذلك كمادة بديلة لجزء من الاسمنت في صناعة الخرسانة(4) بعد ان تحرق لدرجات حرارة ما بين 700-900 درجة مئوية لتكسير الروابط الكامنة في ما بين مكوناتها و بين الماء الرابط كيميائياً لها و لتكسير البنية البلورية لها و تطحن هذه المادة بعد حرقها لدرجة نعومة عالية . و نظرا لخواص هذه المادة في تحسين جودة و متانة الخرسانة فأنها تستخدم و بشكل مطرد في انتاج الخرسانة عالية المقاومة و الخرسانة عالية الأداء مع متانة محسنة. ورغم أهتمام العديد من البحوث والدراسات [5,6,7] ألا أن البحوث في مجال تأثير أضافة الميتاكاولين في مقاومة الكبريتات لا تزال محدودة. وقد قام العمودي وآخرون. (1995)[8] والخطيب وآخرون. (1995)[9] درسوا سلوك الخرسانة باستخدام مواد الأسمت التكميلية ووجد أن دمج مواد الأسمت التكميلية مثل خبث الأفران العالية والرماد المتطاير وأبخرة السيليكا والميتاكاولين كبديل جزئي للأسمت العادي قد وجد أنه تقنية مفيدة لتعزيز مقاومة الخرسانة لهجوم كبريتات.

## 1- الهدف من الدراسة: -

يهدف هذا البحث إلى

دراسة تأثير استخدام أحد أنواع البوزلانا المحلية كبديل جزئي عن الإسمنت ومدى تأثيره على مئانة خرسانة ذاتية الدمك لهجوم الكبريتات.

## 2- منهجية البحث: -

تم دراسة لخواص الخرسانية في الحالة اللدنة والمتصلبة للخرسانة الذاتية الدمك بعد اضافة البوزلانا المحلية من منطقة تمنهنت تحديدا عن طريق الدمك ذاتية والمتواجدة بكثرة بهذه المنطقة حيث سوف يتم دراسة مدى تأثير البوزلانا على مئانة هجوم الكبريتات للخرسانة اختبار المقاومة وفقدان الكتلة خلا الفترات (60-90-120-150) يوما. من الغمر في محلول كبريتات الماغنسيوم بتركيز 5% وسوف يتم إضافة البوزلانا المحلية بنسب متفاوتة من وزن الأسمنت في الخرسانة (10%، 15%، 20%) واختبار الخصائص السابق ذكرها على كل عينة تم إجراء الاختبارات في معامل جامعة وادي الشاطئ وجامعة سبها ومصنع الحديد والصلب مصراتة.

## 1.2 المواد المستخدمة: -

## 1.1.2 الإسمنت

تم استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي من إنتاج مصنع البرج زليتن لجميع الخلطات المستخدمة ويقدم الجدول (1) نتائج الخواص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت المذكور. ومن خلال نتائج تلك الاختبارات تبين أنها مطابقة للمواصفة القياسية الليبية [10]

جدول (1) اختبارات الخواص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت المستخدم

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة [3]
نسبة الماء القياسية	24%	حسب الحاجة
زمن الشك الابتدائي	150 دقيقة	أعلي من 45 دقيقة
زمن الشك النهائي	5 ساعة	أقل من 10 ساعات
ثبات الحجم	1 ملليمتر	أقل من 10 ملم
مساحة السطح النوعي	2520 جرام / سنتيمتر مربع	أعلى من 2500 جرام/ سنتيمتر
مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية عند 3 أيام	25 نيوتن/مم <sup>2</sup>	أعلي من 21 نيوتن/مم <sup>2</sup>
مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية عند 28 يوم	48 نيوتن / مم <sup>2</sup>	أعلي من 39 نيوتن/مم <sup>2</sup>

## 2.1.2 الركام الناعم

تم استخدام رمل طبيعي من منطقة الشاطئ زلاف كركام ناعم بعد نخله على المناخل القياسية ومطابق لمواصفات الركام الناعم حسب المواصفات القياسية الليبية [11]، كما موضح في الشكل (1).



الشكل (1) منحنى تدرج الركام الناعم

## 3.1.2 الركام الخشن

تم استخدام حصى مكسر من منطقة الشاطئ كركام خشن، وبمقاس أقصى 10 ملم ومن خلال التحليل المنخلي وجد أنه مطابق للمواصفات الليبية [12]. لهذا الحجم من الركام. كما موضح في الشكل (2).



الشكل (2) منحنى تدرج الركام الخشن

## 4.1.2 الملدن الفائق

تم استخدام في هذا البحث مضاف مقل للماء بدرجة فائقة أحد الملدنات الخاصة بهذا النوع من الخرسانة وهو

(agel –Technohyper) [13] بنسبة 1.8% من وزن الأسمنت لكل الخلطات الخرسانية.

## 5.1.2 الماء

يعتبر الماء الصالح للشرب مادة نموذجية للأعمال الخرسانية تم استخدام ماء الشرب الاعتيادي من شركة دجلة المحلية لصناعات المياه هو المستخدم في هذه الدراسة في جميع الخلطات الخرسانية ولغرض الإنضاج حسب المواصفات القياسية الليبية. [14]

## 6.1.2 البوزولانا المحلية

تم استخدام في هذه الدراسة البوزولانا المحلية المستخرجة من طينة تمنهنت كمضاف للخلطة الخرسانية وذلك بعد تكليلها ونخلها على منخل 90 مايكرومتر واستخدام المار منها كنسبة من وزن الإسمنت جزئيا كما موضح في الشكل (3) وهي من الإضافات التي يكثر استخدامها في الخرسانة لتحسين جودة الخرسانة وتحسين خواصها، وتستخدم كنسبة من وزن الإسمنت. ومطابقة التركيب الكيميائي للمواد البوزولانية لهذا الموقع للمواصفة ASTM C 618-3 [15] وبالتالي امكانية استخدامها كبديل جزئي للأسمنت لتحسين خواص ومتانة الخرسانة وفيما يلي التركيب الكيميائي لعينة البوزولانا المستخدمة في الدراسة. كما موضحة في الجدول (2) تم عمل التحليل الكيميائي في قسم الكيمياء كلية العلوم جامعة سبها.



الشكل (3) صورة توضح موقع استجلاب عينة البوزولانا من منطقة تمنهنت تم تكليلها وطحنها ونخلها بمعمل الجودة بمصنع الحديد والصلب مصراتة

جدول (2) يوضح نتائج التحليل الكيميائي لعينة البوزولانا المستخدمة. من كلية العلوم جامعة سرت

Analyzed result (EP method)								
No.	Component	Result	Unit	Stat. Err.	LLD	LLQ	Element line	Intensity(cps.µA)
1	SiO <sub>2</sub>	67.3	mass%	0.0410	0.0101	0.0303	L:Si-Kα	297.037
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.1	mass%	0.0569	0.0284	0.0852	L:Al-Kα	59.308
3	TiO <sub>2</sub>	1.65	mass%	0.0172	0.0055	0.0165	M:Ti-Kα	3.583
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.11	mass%	0.0051	0.0002	0.0005	M:Fe-Kα	18.417
5	K <sub>2</sub> O	0.553	mass%	0.0226	0.0351	0.105	M:K-Kα	0.323
6	SO <sub>3</sub>	0.474	mass%	0.0035	0.0056	0.0168	L:S-Kα	6.699
7	CaO	0.412	mass%	0.0139	0.0163	0.0490	M:Ca-Kα	0.408
8	MgO	0.332	mass%	0.0466	0.134	0.403	L:Mg-Kα	0.144
9	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0590	mass%	0.0019	0.0011	0.0032	M:Cr-Kα	0.364
10	SrO	0.0072	mass%	<0.0001	<0.0001	0.0002	M:Sr-Kα	4.136

وفيما يخص الخلطة الخرسانية فقد تم تصميم الخلطة باستخدام الطريقة التجريبية وتم ضبط وتعديل نسب الخلط بحيث تتوافق مع المواصفة الأوروبية (EFNARC) [16] حيث تنص التوصيات الأوروبية [17] نسبة الركام الناعم للركام الكلي (48-55%) وتم تنفيذ عدد 4 خلطات بنسب (0,10,15,20) كنسبة مئوية من وزن الإسمنت وذلك بالإستبدال جزئياً كما هو موضح بالجدول (3) التالي:

الجدول رقم (3) أوزان المواد بالخلطات الخرسانية

الخلطة الثالثة	الخلطة الثالثة	الخلطة الثانية	الخلطة الأولى	الوحدة	المواد
20%	15%	10%	0%		
SCC T20	SCC T15	SCC T10	SCC C		
400	425	450	500	(كجم م <sup>3</sup> )	الإسمنت
100	75	50	0	(كجم م <sup>3</sup> )	البوزولانا المحلية
210	210	210	210	(لتر م <sup>3</sup> )	الماء
818.18	818.18	818.18	818.18	(كجم م <sup>3</sup> )	ركام ناعم
818.18	818.18	818.18	818.18	(كجم م <sup>3</sup> )	ركام خشن
9	9	9	9	نسبة من وزن الأسمنت	الملدن الفائق 1.8%

## 2.2 تجهيز العينات والاختبارات

تم تجهيز و خلط الخرسانة باستخدام خلطة أتوماتيكية وبعد ان تمت معالجة جميع العينات في الماء لمدة 28 يوم يتم غمرها في محلول من كبريتات الماغنسيوم (MgSO<sub>4</sub>) بتركيز 5% أي 50 جرام من كبريتات الماغنسيوم ذائبة في 900 ملي لتر من الماء المقطر ويحفظ عادة في درجة حرارة 23 ويجب الحفاظ على قيمة pH ما بين 6 و 8 ويتم تغيير المحلول إذا تجاوزت هذه الحدود وتكون نسبة حجم المحلول إلى حجم العينات المغمورة عند 4 أضعاف من المحلول إلى حجم واحد من العينات الخرسانية وذلك طبقاً للمواصفة (ASTM C1012-04) [18].

يتم قياس المقاومة بعد (60 , 90 , 120 ، 150) يوما من الغمر في محلول الكبريتات، ويجب ملاحظة ان بعض العينات القياسية من المكعبات تبقى في الماء المقطر لمراقبة النقص في مقاومة الضغط.

لقد تم إجراء بعض الإختبارات على الخرسانة وهي في حالتها الطرية لدراسة مطابقتها لمواصفات الخرسانة الذاتية الدمك وفقا للمواصفات

الأوروبية للخرسانة الذاتية الدمك (EFNARC) حيث تم إجراء الإختبارات السابق ذكرها كما موضح في الشكل (5).



الشكل (5) اختبارات الخواص الطرية للخرسانة ذاتية الدمك بمعمل قسم الهندسة المدنية جامعة وادي الشاطئ

### 3. النتائج

#### 1.3 نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة الطرية

يوضح الجدول (4) نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة الطرية. ومناقشتها

الجدول رقم (4) نتائج اختبارات الخرسانة الطرية وحدود المواصفات

الرمز	نسبة المواد البوزولانية %	المضاف %	L – Box Test	V-Funnel Test SEC	T50 SEC	Slump flow mm	رقم الخلطة
SCC C	0	1.8	0.93	7.3	3.7	700	1
SCC T10	10	1.8	0.8	9	4.27	676	2
SCC T15	15	1.8	0.87	9.3	4.6	662	3
SCC T20	20	1.8	لم يكتمل التدفق	11.29	5.8	521	4
/	/	- 0.6 %2	1- 0.8	12- 6	- 2 5	800-650	حدود المواصفة

تبين نتائج جميع الإختبارات للخرسانة ذاتية الدمك في الحالة الطرية أن الإختبارات المنفذة لها يقع ضمن حدود المواصفة (EFNARC) المحددة باستثناء الخلطة الحاوية على أعلى نسبة من المواد البوزلانية وذلك بسبب ارتفاع اللزوجة لديها والسبب يكمن في زيادة المساحة السطحية الذي يؤثر عكسيا على انسياب الخرسانة وكمية الماء فيها.

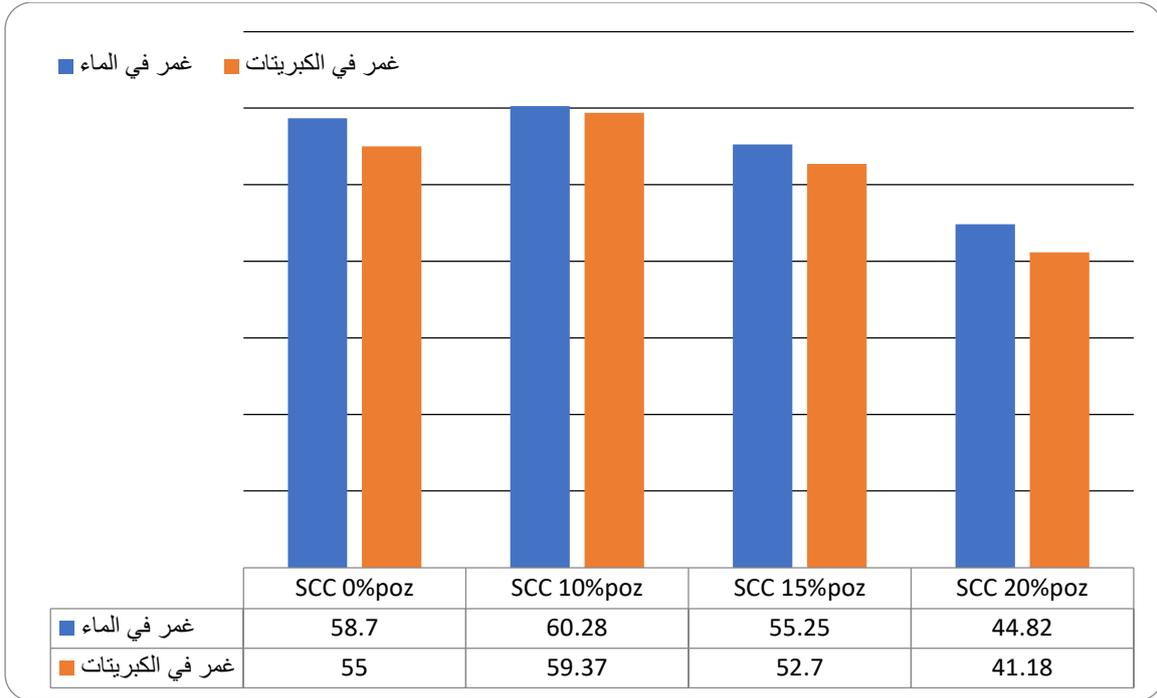
### 2.3 نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة المتصلدة

#### 1.2.3 نتائج مقاومة الضغط

نتائج متوسط مقاومة الضغط لعمر (60-90-120-150 يوم) المغمورة في الماء والكبريتات كما موضح في الجدول (5) ويوضح الشكل (6) مقاومة الضغط لعينات موقع تمنهنت بعمر 150 يوم وبنسب أستبدال بوزلانا (0،%10،%15،%20).

جدول (5) يوضح متوسط مقاومة الضغط

متوسط مقاومة الضغط (MPa)								نسبة بوزلانا (%)	العينة
مغمورة في محلول كبريتات الماغنسيوم				مغمورة في الماء					
150	120	90	60	150	120	90	60		
55	54.66	53.74	50.26	58.7	57.6	56.1	52.32	0	الموقع
59.37	58.06	56.71	53.26	60.28	58.89	57.46	53.86	10	تمنهنت
52.70	52.23	50.83	47.82	55.25	54.36	52.62	49.30	15	
41.18	41.21	40.85	38.35	44.82	43.94	42.83	39.71	20	



شكل 6 مقاومة الضغط لعينات موقع تمنهنت بعمر 150 يوم

تبين النتائج أن خرسانة ذاتية الدمك بنسبة أستبدال الميكاكولين 10% من وزن الأسمنت أعطت أفضل مقاومة للضغط بنسبة زيادة 2.62% مقارنة بخرسانة التحكم عندا الغمر في الماء وأن خرسانة ذاتية الدمك لنسبة أستبدال 10% من وزن الأسمنت أعطت أفضل مقاومة للكبريتات بنسبة زيادة 7.36% مقارنة بخرسانة التحكم عند الغمر في محلول الكبريتات تبين النتائج أن خرسانة ذاتية الدمك بنسبة أستبدال 15% من وزن الأسمنت أعطت مقاومة للضغط أقل بنسبة 5.87% مقارنة بخرسانة التحكم عندا الغمر في الماء وأن خرسانة ذاتية الدمك بنسبة أستبدال 15% من وزن الأسمنت أعطت مقاومة أقل للكبريتات بنسبة 4.20% مقارنة بخرسانة التحكم عند الغمر في محلول الكبريتات أما الخرسانة بنسبة أستبدال للميكاكولين 20% من وزن الأسمنت فأنها أعطت نتائج أقل مقاومة مقارنة بخرسانة التحكم عندا الغمر في الماء أو المحلول الكبريتات.

### 2.2.3 نتائج فقدان الكتلة

ثم حساب التغير في الكتلة  $\Delta M$  وفق المعادلة التالية نتيجة تأثير كبريتات الماغنسيوم بعمر (60، 90، 120، 150 يوم)

$$\Delta M = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

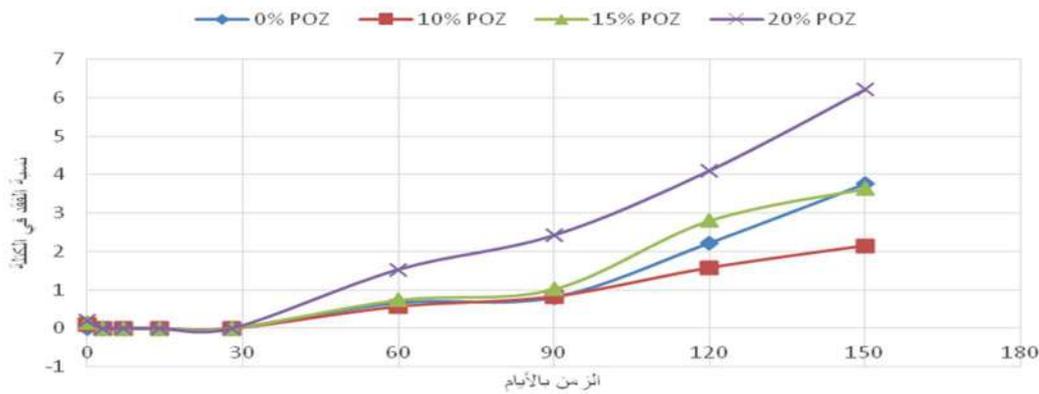
M1 : وزن العينة قبل الغمر في المحلول.

M2 : وزن العينة بعد الغمر في المحلول في مختلف المواعيد

يوضح الجدول (6) التالي نسبة الفقد في الكتلة نتيجة هجوم الكبريتات ويوضح الشكل (7) مخطط نسبة فقدان الكتلة

جدول (6) يوضح نسبة الفقد في الكتلة

نسبة الفقد في الكتلة				العينة
150 يوم	120 يوم	90 يوم	60 يوم	
3.76	2.22	0.8	0.66	SSC C
2.14	1.57	0.83	0.57	SSC T10
3.63	2.8	1.02	0.74	SSC T15
6.21	4.1	2.42	1.53	SSC T20



شكل (7) يوضح نسبة الفقد في الكتلة

نلاحظ في مخطط فقدان الكتلة عندا عمر 150 يوم أن أعلى نسبة فقد في الكتلة في عينة خرسانة بنسبة استبدال 20% ميتاكاولين حيث بلغت 6.21% تم تليها خرسانة التحكم بنسبة فقد 3.76% تم تليها عينة خرسانة بنسبة استبدال 15% ميتاكاولين حيث بلغت نسبة الفقد 3.63% أن أقل نسبة فقد في الكتلة في عينة الخرسانة بنسبة استبدال 10% ميتاكاولين حيث بلغت نسبة الفقد 2.14%.

#### 4. الاستنتاجات

بناءً على النتائج التي تحصلت عليها من هذه الدراسة، يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية

1- استبدال الأسمنت بنسبة 20% من البوزلانا آدا الى حدوث نتائج عكسية في كلا من اختبارات الخرسانة الطرية والمتصلدة.

- 2- أعلى نسبة فقد في الكتلة فكانت في الخلطة الخرسانية (SCC T20) بسبب احتواها على نسبة استبدال 20% ميتاكاولين وأقل نسبة فقد في الكتلة في الخلطة الخرسانية (SCC T10) وهي الخلطة الحاوية على نسبة استبدال 10% ميتاكاولين.
- 3- لوحظ خلال زيادة المواد البوزولانية لنسبة 20% يكون لها تأثير عكسي على المقاومة والكتلة وذلك يرجع لعدم قدرتها على المليء الذاتي للفراغات داخل الخرسانة بالتالي ضعف مقاومة الخرسانة.
- 4- ان النسبة المتلى في الخلطات الخرسانية ذات نسبة استبدال 10% ميتاكاولين حيث أنها أعطت أفضل متانة لهجوم الكبريتات مقارنة بمثيلاتها من النسب الأخرى.

## 5. التوصيات

بناء على ما استنتجت وتوصلت إليه في هذه الدراسة أوصي بالآتي: -

1. دراسة تأثير تراكيز مختلفة من محاليل كبريتات الماغنسيوم لمثانة الخرسانة ذاتية الدمك.
2. دراسة تأثير أنواع أخرى من الكبريتات على مثانة الخرسانة ذاتية الدمك.
3. دراسة تأثير استبدال الميتاكاولين بأنواع أخرى من الأسمنت على مثانة خرسانة ذاتية الدمك لهجوم الكبريتات.
4. دراسة تأثير نعومة الميتاكاولين على مثانة الخرسانة لهجوم الكبريتات لموقع الدراسة.
5. توسيع مجال الدراسات وإجراء التجارب بحيث تشمل مواقع أخرى متوفرة في نفس المنطقة، ومحاولة إضافة عدة أنواع من الكاولينا المدروسة وخلطها ببعض وبنسب مختلفة للحصول على مركبات قد تكون أفضل من استخدام العينات منفردة لمثانة الخرسانة.
6. إدراج هذه الثروات الطبيعية كأحد مصادر الدخل القومي للبلاد؛ وهذا يتطلب إجراء دراسة شاملة وتفصيلية لكافة المناطق الأخرى التي تتواجد بها هذه المواد وتقدير الاحتياطات لها.

## المراجع

20. ا. د. عبدالسلام عكاشة " تكنولوجيا الخرسانة" منشورات جامعة سبها الطبعة الأولى 2013
21. Jan S Kalny, Jacques Marchand, Ivan Odler, "Sulfate Attack on Concrete ", Spon Press, (2002)
22. ACI237R07, American concrete Institute, Self-consolidating concrete, 2007
23. J.M. Khatib, S. Wild, "Sulfate resistance of metakaolin concrete. ", Cement and Concrete Research 28 (1) (1998) 83-92.
24. S. U. Al-Dulajjan, M. Maslenuddin, M. M. Al-Zahrani, M. Shameem, M. Ibrahim, " Sulphate Resistance Plained Blended Cement Exposed to Varying Concentration of Sodium Sulphate", Cement and Concrete Composite Journal" 25-(2003) 421-437.

25. Rafat Siddique, Juvas Klaus, " Influence of Metakaolin on The Properties of Mortar and Concrete ", Applied Clay Science Journal" 43 (2009) 392-400.
26. Burak Felkohlu, Kambiz, Kamil Tosun, Baris Musal "Sulfate Resistance of Different Types of Portland Cement by Selecting the Appropriate methods ", Construction and Building Journal .20 (2006) 819-823.
27. Al-Amoudi, O. S., Maslehuddin, M. and Saadi, M. M. (1995) "Effect of magnesium sulfate and sodium sulfate on the durability performance of plain and blended cements", ACI Materials Journal, Vol. 92 (1), pp.15-24
28. Khatib, J. M. and Mangat, P. S (1995) "Influence of fly ash, silica fume, and slag on sulfate resistance of concrete", ACI Materials Journal, Vol. 92(5), pp 542-552
29. المواصفات القياسية الليبية رقم (340) الاسمنت البورتلاندي، 2009
30. المواصفات القياسية الليبية رقم (49) ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية، لسنة 2002
31. المواصفة القياسية الليبية رقم (252) ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية -طريقة إجراء التحليل المنخلي 2006.
32. النشرة الفنية لمادة الملدن (agel –Technohyper)
33. المواصفة القياسية الليبية رقم (294) المياه المستعملة في الخرسانة"، 1988
34. ASTM C 618 Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete
35. Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete February 2002
36. The European Project Group, "The European Guidelines for self-compacting concrete Specification, production and use ", May 2005
37. ASTM C1012-10: Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution, Annual Book of ASTM Standards (1989).

## تأثير الركام المعاد تدويره من الخرسانة العادية والخرسانة المطاطية على خصائص الخرسانة

أشرف أحمد محمود فضيل

أستاذ مساعد - قسم الهندسة المدنية - جامعة عمر المختار - البيضاء - ليبيا

ashraf.fadiel@omu.edu.ly

## ملخص

يعد استخدام الخرسانة المعاد تدويرها خطوة مهمة جدا للتقليل من الاعتماد على الموارد الطبيعية في وقتنا الحاضر ومستقبلا، ونظرا لكون الخرسانة من أكثر المواد استخداما في البناء وهذا يعني انه مع الوقت ستتناقص الموارد الطبيعية التي تنتج منها الخرسانة مثل الاسمنت والركام (الخشن والناعم) كما إنه في بعض الاحيان يصعب توفيرها بشكل اقتصادي بالقرب من أماكن الإنشاء، وبالتالي فإن إعادة تدوير الخرسانة أو إعادة استخدام مخلفات البناء من جديد اصبح امرا ضروريا وملحا لاسيما بسبب الطرق السلبية المتبعة حاليا في التخلص من المخلفات بالإضافة الى قلة المقالب العمومية المعدة لهذا الغرض ولذلك فإن إعادة استخدام هذه المخلفات عامل مهم جدا من النواحي البيئية والاقتصادية. تقدم هذه الورقة دراسة لتأثير استخدام الركام المعاد تدويره من الخرسانة العادية والخرسانة المطاطية على خصائص الخرسانة العادية، حيث تم استخدام نسب من الركام المعاد تدويره تراوحت من 25 الى 100% حجما كبديل للركام الخشن. وتم تقييم خصائص الخرسانة المنتجة بعمر 365 يوم. حيث تم دراسة تأثير نسب الاستبدال المختلفة على الكثافة الجافة، والامتصاص، مقاومة الانضغاط، سرعة الموجات فوق الصوتية ومطربة الارتداد. أظهرت الدراسة ان استخدام الركام المعاد تدويره بنسبه استبدال 100% من الخرسانة العادية والخرسانة المطاطية بدون معالجة بنسب 25% و 32% على التوالي، حيث كانت اقل مقاومة انضغاط تم الحصول عليها في حدود 43 نيوتن/مم<sup>2</sup>. الانخفاض في خصائص الخرسانة المنتجة من الركام المعاد تدويره مقارنة بالخلطة المرجعية يعد مقبولا، وعليه فإن مثل هذه التطبيقات يمكن ان يكون حلا مناسباً للتخلص من مخلفات الخرسانة بشكل مجد ويقلل من الاثار السلبية للطرق التقليدية المتبعة في التخلص من مخلفات الخرسانة.

كلمات دالة: الخصائص الميكانيكية، الخرسانة المطاطية، الركام المعاد تدويره، مخلفات الخرسانة ومواد البناء، الركام الخشن.

## مقدمة:

تعتبر الخرسانة أكثر المواد الإنشاء شيوعا واستخداما منذ القرن العشرين، عالميا صناعة الخرسانة وموادها الخام مسؤولة على ما يزيد عن 8% من مجمل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. تتكون الخرسانة من ركام ناعم وخبثن واللذان يمثلان ما بين 60 - 75% من حجم الخرسانة بالإضافة الى العجينة الاسمنتية والتي تتكون من الاسمنت والذي يشكل 7 - 15% من حجم الخرسانة مضافا اليه الماء. استهلاك مكونات الخرسانة من الرمل والحصى والاسمنت تضاعف بشكل كبير في العقود الأخيرة، حيث تضاعف الإنتاج العالمي من الأسمنت حوالي ثلاث مرات والمتوقع ان يصل الى ما يقارب 3.5 مليار طن في عام 2030؛ والذي يعتبر مؤشرا على ارتفاع الطلب على انتاج الخرسانة وبالتالي يصاحبه زيادة في الطلب على الحصى والرمل. ان الاستهلاك الكبير لمكونات الخرسانة من رمل وحصى يعد هاجسا كبيرا يشغل المهتمين بقطاع الإنشاء والبناء من حكومات وشركات؛ في الولايات المتحدة، يتراوح الاستهلاك السنوي من الرمل والحصى ما بين 920 مليون الى مليار طن وذلك حسب احصائيات السنوات من 2021 الى 2023.

[1, 2].

تعتبر النفايات الخرسانية قضية بيئية هامة، حيث أنها تشكل نسبة كبيرة من مخلفات البناء والهدم. كما إنها لا تشكل مشكلة من ناحية كميتها فحسب، بل من ناحية أثارها السلبية على البيئة. حيث إن التخلص من مخلفات الخرسانة في مدافن النفايات يمكن ان يؤدي الى تسرب مواد كيميائية ضارة بالتربة والمياه الامر الذي يزيد من احتمالية تلوثها الامر الذي يترتب عليه مخاطر صحية على الانسان والاضرار بالبيئة المحيطة. في الولايات المتحدة تشكل الخرسانة نسبة كبيرة من مخلفات قطاع البناء والتشييد حيث تمثل هذه المخلفات حوالي ثلثي إجمالي النفايات الصلبة؛ وبحسب وكالة حماية البيئة الامريكية إن ما يزيد عن 500 مليون طن من مخلفات البناء والهدم يتم توليدها سنويا وتمثل نفايات الخرسانة الجزء الأكبر من هذه المخلفات [1 - 2]. في عام 2016، تصدرت الصين دول العالم من حيث كميات المخلفات المتعلقة بقطاع الانشاء، حيث بلغت ما يقارب 2300 مليون طن، تلتها الولايات المتحدة والهند بحوالي 600 و 530 مليون طن على التوالي. بينما احتلت الدول الاوربية المقدمة من حيث كمية مخلفات البناء والهدم لكل شخص، حيث بلغت حوالي 6 طن لكل شخص في هولندا، فيما حلت النمسا ثانياة بحوالي 5.5 طن لشخص [1 - 3].

وفي ظل زيادة الطلب على الموارد الطبيعية الداخلة في صناعة للخرسانة حول العالم، برزت الحاجة للجوء الى تقنيات وأساليب حديثة تسعى الى التقليل من استخدام الموارد الطبيعية والاستفادة من المخلفات الصناعية ومخلفات المباني للحصول على مواد بديلة للركام الخشن والناعم. ومن امثلة ذلك إعادة تدوير الخرسانة القديمة للحصول على ركام خشن يمكن استخدامه مجددا كجزء من مكونات خرسانة صديقة للبيئة وأكثر استدامة. كانت بدايات هذه الفكرة بعد الحرب العالمية الثانية حيث إن العديد من المدن وخاصة في المانيا والمملكة المتحدة تم تدميرها جراء القصف والتي بدورها أدت إلى تكون كميات كبيرة جدا من الأنقاض الخرسانية، في ذلك الوقت لاقت هذه الفكرة قبولا ونجاحا واسعا وذلك للاستفادة منها في مشاريع إعادة الإعمار للمباني والمدن السكنية المدمرة [3 - 7].

ان زيادة وتيرة البناء والتطور العمراني عالميا ومحليا وما يتبعه من هدم وإزالة للمباني القديمة وما ينتجه من مخلفات تعد تحديا للدول والحكومات المحلية لإيجاد حلول للاستفادة من هذه المخلفات وإيجاد بدائل للمواد الخام الداخلة في صناعة الخرسانة. في السنوات العشرين الأخيرة أجريت العديد من الأبحاث لاستخدام مخلفات البناء والهدم كجزء من مكونات الخرسانة. تتكون مخلفات الخرسانة من ركام خشن ومونة إسمنتية قديمة. الخرسانة المعاد تدويرها هي خرسانة مصنوعة من الركام المعاد تدويره (RA) المشتق من مخلفات البناء والهدم والذي يمكن استخدامه كبديل جزئي أو كامل للركام الطبيعي، أظهرت الدراسات إن استخدام الركام المعاد تدويره يمكن أن يوفر ما يصل إلى 60% من موارد الحجر الجيري مع تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بنسبة 15% إلى 20%. إن استخدام الركام المعاد تدويره كبديل للركام الطبيعي الخشن أو الناعم في الهياكل الخرسانية، تعتبر طريقة واعدة للتغلب على استنفاد الموارد الطبيعية والتلوث البيئي الناتج عن تكس المخلفات الخرسانية في الأراضي الزراعية ومكبات الوديان والمقالب العمومية، كما يوفر لنا خيارًا عمليًا بديلاً في الوقت الحاضر لأنه يحقق مبدأ الاستدامة، والذي له انعكاساته الإيجابية على التكاليف بشتى أنواعها ، حسب التقديرات ان استخدام الركام المعاد تدويره من مخلفات الهدم والبناء كبديل للركام الطبيعي المستخدم في الخرسانة يمكن ان يوفر ما يقارب 20% من تكلفتها [3, 8].

الركام عبارة عن مادة خشنة صخرية تتكون من مجموعة من الجسيمات وتشمل الحصى (الزلط) وكسر الأحجار والخرسانة المعاد تدويرها والركام الصناعي، والركام الخشن بشكل عام هو الركام الذي لا تمر حبيباته من المنخل 4.75 مم أو المنخل رقم (4). الركام المعاد تدويره من الخرسانة ومخلفات البناء يتميز بعدم انتظام سطحه وشكله الزاوي مقارنة بالركام الطبيعي وكذلك التصاق بقايا المونة الإسمنتية به. كما أشارت العديد من الدراسات ان امتصاص الركام المعاد تدويره من الخرسانة امتصاصه للماء ومساميته أعلى من الركام الطبيعي وذلك بسبب التصاق المونة القديمة به وبالتالي فإن الركام الخشن المعاد تدويره يقلل من قابلية التشغيل للخرسانة الجديدة [3, 9].

الدراسة الحالية تشمل دراسة استخدام الركام المعاد تدويره من مخلفات الخرسانة عادية والخرسانة مطاطية والتي تم دراستها سابقا [10 - 12]. حيث تم استخدام الركام المعاد تدويره كبديل عن الركام الخشن بنسب تتراوح 25 - 100% حجما ومقارنتها مع خرسانة منتجة من ركام خشن طبيعي. في هذه الدراسة تم دراسة إضافة الركام المعاد تدويره على خصائص الخرسانة حيث تم اختبار مقاومة الانضغاط والكثافة الجافة والامتصاص بعمر 365 يوم، كما تم تقييم الخرسانة المعاد تدويرها باستخدام الاختبارات اللاإتلافية مثل مطرقة الارتداد واختبار الموجات فوق الصوتية، ومن ثم تم استخدام النتائج المتحصل عليها لاستنتاج معادلات تجريبية لتخمين مقاومة الانضغاط بواسطة النتائج المتحصل عليها من الطرق اللاإتلافية ومقارنتها بنتائج مقاومة الانضغاط بالطرق التقليدية.

#### المواد المستخدمة والبرنامج العملي

يشتمل هذا الجزء على توصيف المواد المستخدمة في الدراسة والاختبارات التي تم إجرائها عليها للتأكد من جودتها ومطابقتها للمواصفات ذات العلاقة. وكذلك وصف لطريقة تحضير العينات الخرسانية ونسب الاستبدال للخلطات المختلفة. كما يشتمل على وصف للاختبارات التي تم إجرائها لتقييم خواص الخرسانة المنتجة من الركام المعاد تدويره من الخرسانة الاعتيادية والخرسانة المطاطية.

#### المواد المستخدمة

**الاسمنت:** تم استخدام اسمنت بورتلاندي عادي (N-42.5) من إنتاج مصنع الفنائح - درنة. أظهرت نتائج الاختبارات التي تم إجرائها على الاسمنت إن الخصائص الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية له مطابقة للمواصفة الأمريكية [13]. الجداول 1، 2 توضح الخصائص الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية وحدود المواصفة لكل منها.

جدول 1: الخصائص الكيميائية للإسمنت المستخدم في الدراسة

العنصر	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cl	TiO <sub>2</sub>	MnO	LOI
(%)	17.22	5.33	2.80	65.8	1.77	2.68	0.38	0.88	0.006	0.32	0.04	2.75

جدول 2: الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت المستخدم في الدراسة

الموصفة	القيمة	الخصائص	
--	24.4	القوام القياسي (%)	
45 <	141	زمن الشك الابتدائي (دقيقة)	
375 >	220	زمن الشك النهائي (دقيقة)	
10 <	1.1	الثبات (مم)	
2250 <	3940	النعومة السطحية بطريقة Blain (سم <sup>2</sup> /جم)	
---	3.15	الوزن النوعي	
12	15.6	بعمر 3 أيام	مقاومة الانضغاط (نيوتن / مم <sup>2</sup> )
19	24.4	بعمر 7 أيام	

**الركام الناعم:** الركام الناعم المستخدم تم توريده من منطقة شط البدین. تم إجراء التحليل المنخلي بناءً على المواصفة البريطانية (BS 812: Part 103:1992). التدرج الحبيبي للركام الناعم ضمن حدود المواصفة وكما هو موضح بالجدول (3). الخصائص الفيزيائية للركام الناعم المستخدم وحدود المواصفة موضحة بالجدول 4.

جدول 3: التحليل المنخلي للركام الناعم

0.075	0.15	0.3	0.6	1.18	2.36	4.75	مقاس فتحة المنخل (مم)
0.3	2	30.8	89.4	99.4	99.8	99.95	النسبة المئوية للعابر (%)
---	---	70 - 5	100 - 55	100 - 70	100 - 80	---	حدود المواصفة

جدول 4: الخصائص الفيزيائية للركام الناعم

الاختبار	الوزن النوعي	الامتصاص (%)	المواد الناعمة (%)	وزن وحدة الحجم (كجم/م <sup>3</sup> )
الموصفة	BS 812: Part 2: 1995	ASTM C142:06	ASTM C 29/C 29M - 07	1737
القيمة	2.69	0.55	0.6	---
حدود المواصفة BS 882: 1995	2.7 - 2.5	3 >	3 >	---

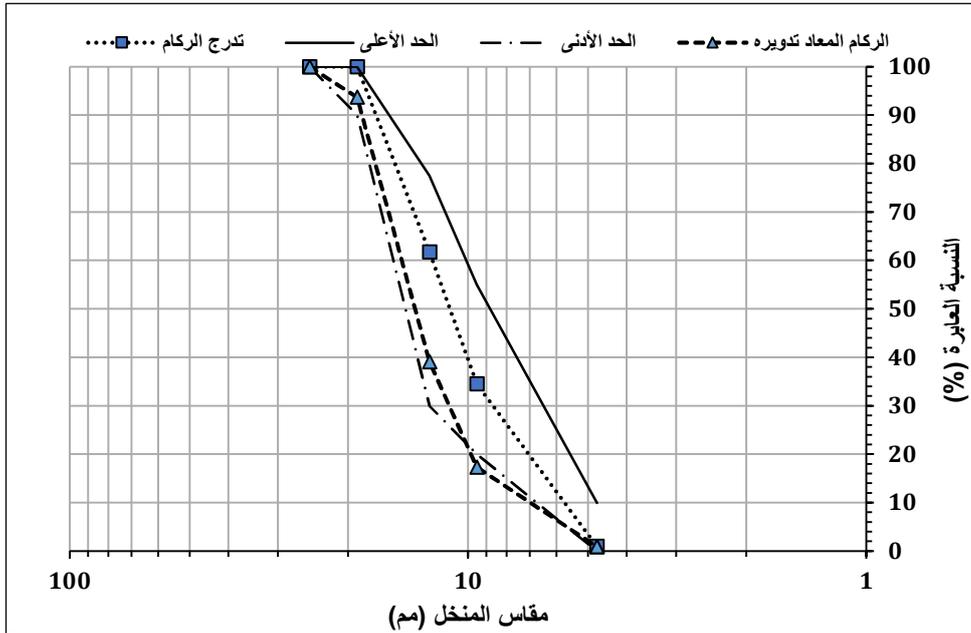
الركام الخشن: الركام الخشن المستخدم في الدراسة (شكل 1) عبارة عن ركام طبيعي (NCA) من كسر الحجارة تم توريده من إحدى الكسارات الواقعة جنوب منطقة الجبل الأخضر. بالإضافة إلى ركام خشن تم الحصول عليه من تكسير عينات من الخرسانة العادية (RCA)، وركام خشن تم الحصول عليه من تكسير عينات خرسانة مطاطية (RRA) (خرسانة تحتوي على مطاط بنسب مختلفة). بعد تكسير العينات الخرسانية تم غربلتها على منخل 19 و 4.75 مم بحيث يتراوح مقاس حبيبات الركام المعاد تدويره ما بين 4.75 - 19 مم. ومن ثم تم إجراء الاختبارات المختلفة لتقييم خصائص الركام المختلفة (الشكل 2 يوضح توزيع حبيبات الركام) الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لأنواع الركام المختلفة موضحة بالجدول 5.

جدول 5: الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن

الخصائص الميكانيكية		الخصائص الفيزيائية		الاختبار	نوع الركام
معامل التصادم (%)	معامل التهشيم (%)	الامتصاص (%)	الوزن النوعي		
BS 812: Part112 :1990	BS 812: Part110:1990	BS 812: Part 2: 1995			
16.9	23.9	1.1	2.63		NCA
28.4	36.1	6	2.38		RCA
22.8	34.2	6.6	2.29		RRA
45 >	45 >	3 >	2.7 - 2.5		حدود المواصفة BS 882: 1995



شكل 1: الأنواع المختلفة للركام الخشن



شكل 2: التدرج الحبيبي للركام الخشن والركام المعاد تدوير

#### ماء الخلط -

تم استخدام ماء صالح للشرب في عميات خلط ومعالجة الخرسانة ومطابق للمواصفة القياسية الليبية (LQS 249: 1988).

#### البرنامج العملي:

تم تصميم الخلطة المرجعية باستخدام طريقة المعهد الأمريكي للخرسانة (ACI)، تسع خلطات خرسانية مختلفة تم تحضيرها (خلطة مرجعية (CM) وأربع خلطات تم استبدال الركام الطبيعي حجميا بركام معاد تدويره من خرسانة عادية (CRA) بنسب تتراوح من 25 - 100% وأربع خلطات تحتوي على ركام معاد تدويره من خرسانة مطاطية (RRA) بنسب 25 - 100% كبديل عن الركام الخشن الطبيعي). الجدول 6 كميات المواد لكل متر مكعب خرسانة للخلطات المختلفة. لكل خلطة تم تحضير 6 مكعبات بأبعاد (100 × 100 × 100 مم) حيث تم صبها ومعالجتها وفقا للمواصفة ASTM C 192. بعمر 365 تم اخراج العينات من حوض المعالجة وأجرى الاختبارات عليها. حيث تم إجراء اختبار الكثافة الجافة والامتصاص وفقا للمواصفة ASTM C642-13 ومن ثم تم اختبار العينات باستخدام نوعين من الاختبارات اللاإتلافية وهما اختبار الموجات فوق الصوتية طبقا للمواصفة [ASTM C 597] واختبار مطرقة الارتداد طبقا للمواصفة [ASTM C805]، ومن ثم تم اختبار المكعبات بواسطة اختبار مقاومة الانضغاط الأتتلافي باستخدام آلة فحص الانضغاط طبقا للمواصفة [BS EN 12390-3: 2009].

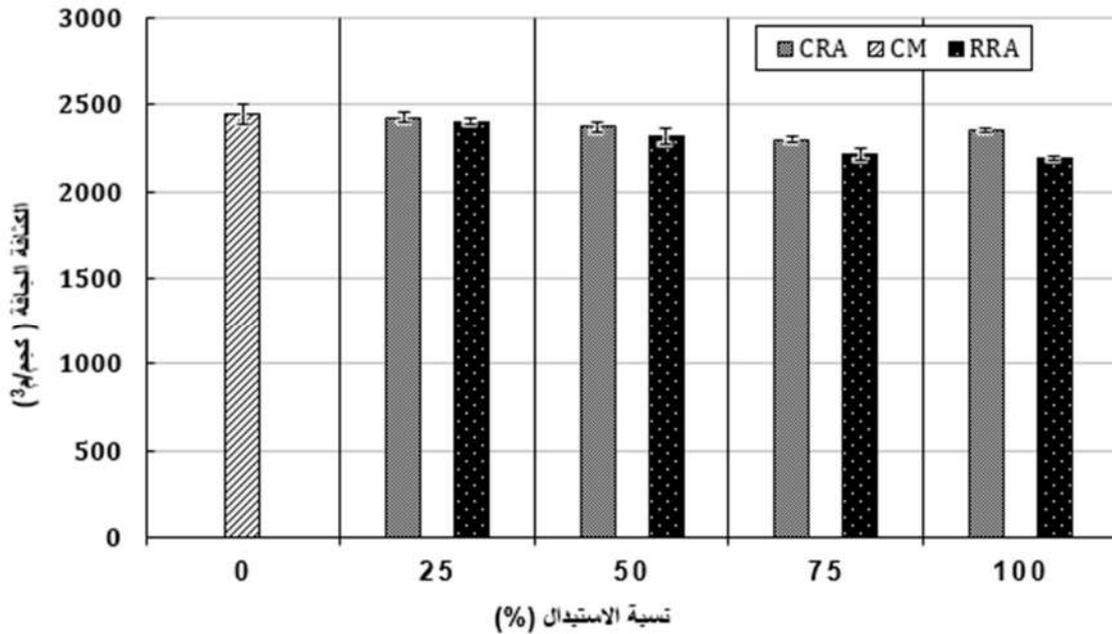
جدول 6: نسب الخلط لكل متر مكعب خرسانة للخلطات المختلفة

نسبة (w/c)	الوزن (كجم/م <sup>3</sup> )					الخلطة
	الماء	الإسمنت	الركام المعاد تدويره	الركام الخشن	الركام الناعم	
0.49	205	418	0	1010.5	713.7	CM
0.49	205	418	229.6	757.9	713.7	25CRA
0.49	205	418	459.1	505.3	713.7	50CRA
0.49	205	418	688.7	252.6	713.7	75CRA
0.49	205	418	918.3	0	713.7	100CRA
0.49	205	418	220.0	757.9	713.7	25RRA
0.49	205	418	439.9	505.3	713.7	50RRA
0.49	205	418	659.9	252.6	713.7	75RRA
0.49	205	418	879.9	0	713.7	100RRA

النتائج والمناقشة:

#### الكثافة الجافة

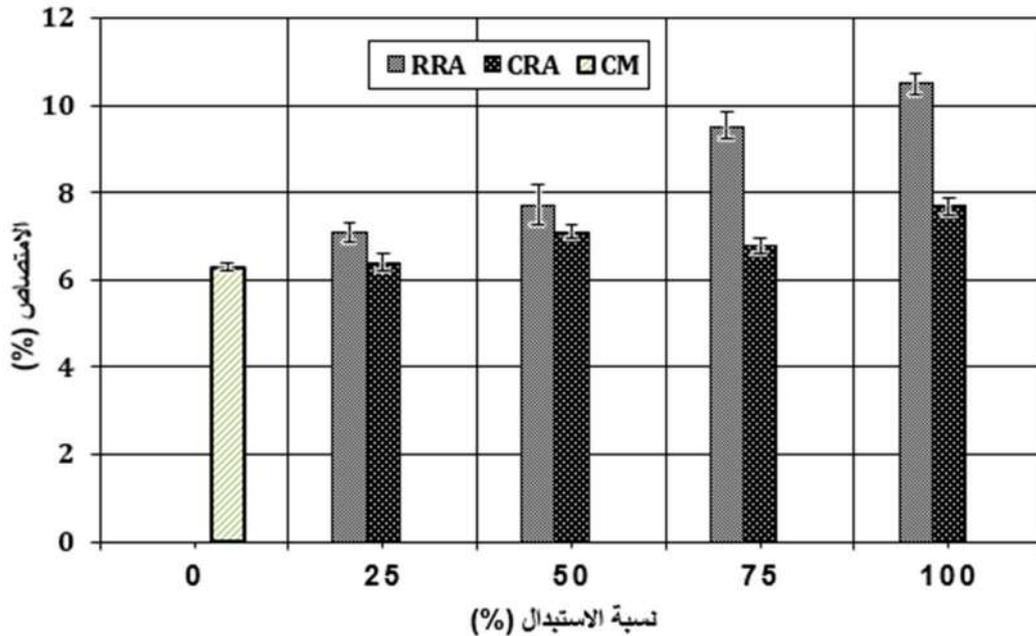
تم إجراء اختبار الكثافة الجافة للخلطات المختلفة طبقاً للمواصفة [ASTM C 642 - 13]، الشكل 3 يوضح نتائج اختبار الكثافة الجافة بعمر 365 يوم. أظهرت النتائج انخفاض الكثافة الجافة مع زيادة نسبة الاستبدال حيث تراوحت نسب الانخفاض في الكثافة الجافة ما بين 1 - 6% للخلطات الحاوية على ركام من النوع CRA بينما كان الانخفاض أكبر للخلطات الحاوية على ركام نوع RRA وتراوحت ما بين 2 - 10% مقارنة بالخلطة المرجعية والتي كانت قيمة الكثافة الجافة لها في حدود 2445.6 كجم/م<sup>3</sup>. لجميع الخلطات زاد الانخفاض في الكثافة مع زيادة نسبة الاستبدال، الانخفاض للخلطات الحاوية على ركام نوع RRA يعود إلى انخفاض الوزن النوعي لهذا النوع من الركام مقارنة بالركام الطبيعي والركام المستخرج من الخرسانة العادية، ويمكن تفسير ذلك أيضاً إلى احتواء الخلطات RRA على المطاط والذي يمتاز بخفة وزنه مقارنة مع الركام الطبيعي وكذلك تكون الفجوات الهوائية في الخلطات الحاوية على مطاط وزيادتها بزيادة كمية المطاط المضاف والتي تساهم كذلك في انخفاض الكثافة. العديد من الدراسات السابقة توصلت إلى نفس النتائج وقدمت تفسيراً مطابقاً لما توصلت إليه هذه الدراسة [10, 11, 16].



شكل 3: قيم الكثافة الجافة للخلطة المرجعية والخلطات المختلفة

#### الامتصاص

تم اختبار الامتصاص طبقاً للمواصفة [ASTM C 642 - 13]، الشكل 4 يوضح نتائج الامتصاص للخلطات المختلفة. تراوحت قيم الامتصاص للخلطات الحاوية على ركام معاد تدويره من الخرسانة العادية ما بين 6.4 الى 9.95% بينما سجلت الخلطات الحاوية على ركام معاد تدويره من الخرسانة المطاطية نسب امتصاص تراوحت ما بين 7.1 الى 10.5% لنسب استبدال من 25 الى 100% فيما كانت نسبة الامتصاص للخلطة المرجعية 6.3%. حيث لوحظ إنه بزيادة نسبة الاستبدال زادت قيم الامتصاص للخلطات المختلفة. كما سجلت الخلطات الحاوية على ركام معاد تدويره من الخرسانة المطاطية نسب امتصاص اعلى من الخلطات الحاوية على ركام معاد تدويره من خرسانة عادية لنفس نسب الاستبدال. قيم الامتصاص المسجلة لجميع الخلطات كانت اقل من 10% (باستثناء الخلطة 100RRA والتي سجلت 10.5%) ولذلك تعتبر الخرسانة ذات جودة مقبولة بناءً على هذه الخاصية [17]. للخلطات الحاوية على نسب مختلف CRA تراوحت نسب الزيادة في الامتصاص من 2 - 58% بينما كانت نسب الزيادة اعلى في الخلطات الحاوية على ركام معاد تدويره من الخرسانة المطاطية والتي تراوحت من 13 - 67%. السبب في ارتفاع الامتصاص للخلطات الحاوية على RRA يعود الى ان وجود المطاط أدى الى تكون فجوات هوائية بالخلطات الخرسانية حيث إن زيادة نسبة الفجوات تؤدي الزيادة نسبة الامتصاص عدة دراسات توصلت الى نفس التفسير [10-12,16].



شكل 4: نتائج الامتصاص للخلطات المختلفة

#### اختبار الموجات فوق الصوتية

اختبار الموجات فوق الصوتية من الاختبارات اللاإتلافية ويتم إجرائه وفق للمواصفة [ASTM C 597]. يستعمل هذا الاختبار لتقييم جودة الخرسانة ويعتبر مقياساً لمدى تجانس الخرسانة المتصلبة، كما يمكن من خلاله تحديد الشروخ والفجوات بالخرسانة، تخمين مقاومة الخرسانة، تحديد درجة التلف بالخرسانة وقابلية معايير المرونة [17, 18]. يعتمد هذا الاختبار على مبدأ حساب الزمن الذي تستغرقه الموجة لمرور خلال مسار معين بواسطة مرسل ومستقبل الموجة ومن ثم يتم حساب سرعة الموجات فوق الصوتية وفقاً للمعادلة (1). في هذه الدراسة تم استخدام طريقة القياس المباشر بحيث تكون المسافة الأفقية بين المرسل والمستقبل هي طول مسار الموجة ويقاس الزمن بواسطة جهاز الموجات فوق الصوتية عند ثبوت قراءة الجهاز ويتم تكرار القياس عدة مرات ويؤخذ متوسط القراءات ومن ثم تسجل القراءة ويتم إجراء باقي الحسابات. كما يمكن أيضاً استخدام هذه النتائج بالإضافة لنتائج الكثافة الجافة للخلطات المختلفة من حساب معامل المرونة الديناميكي وذلك عن طريق المعادلة (2)، بفرض قيمة نسبة بواسون  $\mu$  تساوي 0.28 [18 – 20].

(1)

$$UPV = \frac{L}{T}$$

حيث ان:

UPV : سرعة الموجات (م/ث) ؛

L : طول المسار (م)؛

$T$  : زمن انتقال الموجه (ثانية).

$$(2) \quad UPV = \sqrt{\frac{E(1 - \mu)}{\rho(1 + \mu)(1 - 2\mu)}}$$

حيث ان:

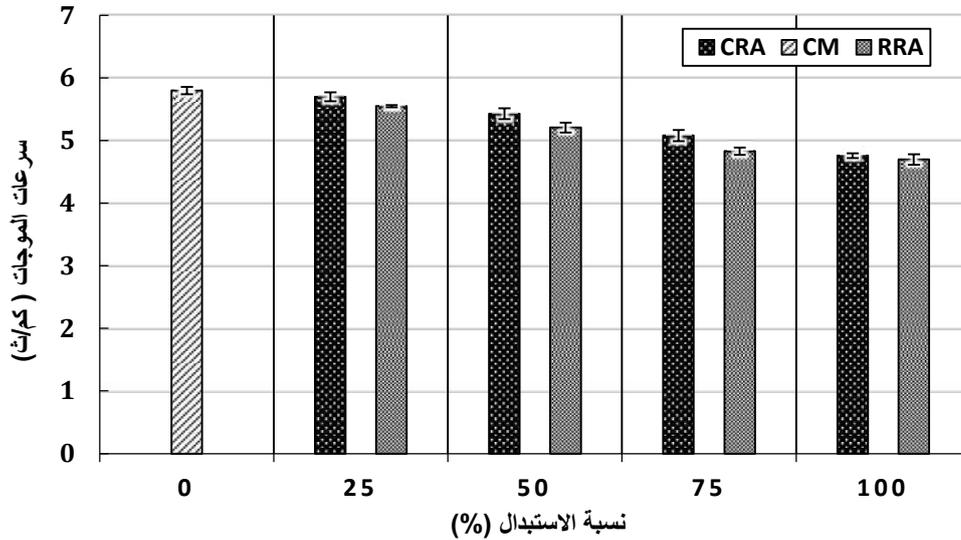
$UPV$  : سرعة الموجات (م/ث) ؛

$\mu$  : نسبة بواسون ؛

$\rho$  : الكثافة (كجم/م<sup>3</sup>)؛

$E$  : معامل المرونة الديناميكي (نيوتن/مم<sup>2</sup>).

أظهرت النتائج ان سرعة الموجات قد انخفضت مع زيادة نسبة استبدال الركام الطبيعي بالركام المعاد تدويره، حيث تراوحت نسب الانخفاض في سرعة الموجات مقارنة بالخلطة المرجعية ما بين 2 - 18% للخلطات الحاوية على ركام نوع CRA بينما للخلطات الحاوية على ركام نوع RRA تراوحت نسب الانخفاض ما بين 4 - 19% لنسب استبدال 25 - 100%. الشكل (5) يوضح نتائج اختبار الموجات فوق الصوتية للخلطات المختلفة. حيث كانت سرعة الموجات للخلطة المرجعية 5.8 كم/ث وتراوحت سرعة الموجات للخلطات الحاوية ركام من النوع CRA من 4.76 الى 5.7 كم/ث وللخلطات الحاوية على الركام من النوع RRA من 4.7 الى 5.5 كم/ث. الانخفاض في سرعة الموجات فوق الصوتية يعد مؤشرا على انخفاض في جودة الخرسانة وهذا يمكن تفسيره بسبب الضعف في الطبقة المحيطة بحبيبات الركام المعاد تدويره بسبب المونة القديمة العالقة به والتي تقلل من قوة الترابط بين الركام والعجينة الجديدة، كما ان وجود بعض المطاط ملتصق بالركام المعاد تدويره من الخرسانة المطاطية يحد من سرعة الموجات ويزيد من زمن انتقال الموجات خلال كتلة الخرسانة [22, 23].



شكل 5: سرعات الموجات فوق الصوتية للخلطات المختلفة

يعبر معامل المرونة الإستاتيكي ( $E_c$ ) عن التشوه المرن للمادة ونظرا لصعوبة التي ترافق والتفاوت في النتائج قياس معامل المرونة الإستاتيكي فإن معامل المرونة الديناميكي ( $E_d$ ) يمكن ان يعبر عن مدى تشوه المادة تحت الاجهادات المسلطة، إشارات الدراسات السابقة الى ان قيم معامل المرونة الميكانيكي اعلى من قيم معامل المرونة الإستاتيكي بحوالي 20 - 40% حيث إن نسب الزيادة تقل مع زيادة مقاومة الانضغاط للخرسانة [24, 25].

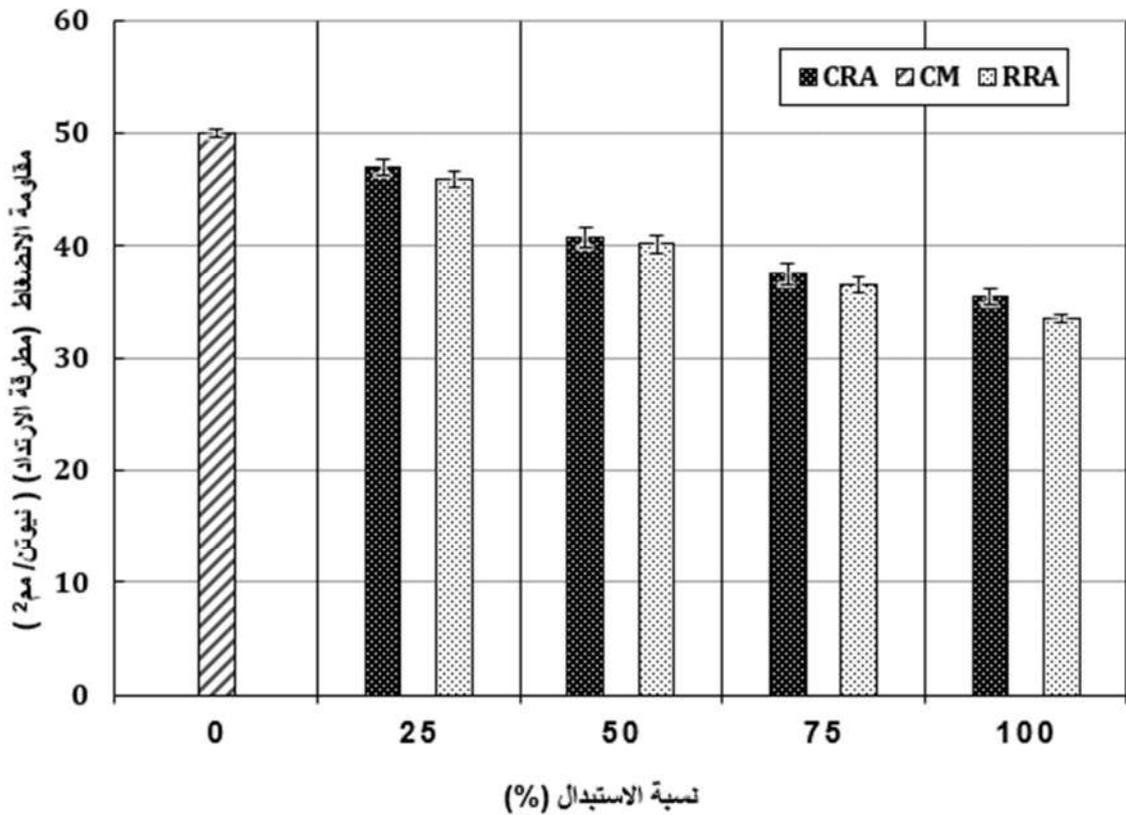
حيث أدت زيادة نسبة استبدال الركام الى انخفاض قيم معامل المرونة الديناميكي للجميع الخلطات مقارنة بالخلطة المرجعية والتي سجلت معامل مرونة ديناميكي  $64.4 \times 10^3$  نيوتن/مم<sup>2</sup>، حيث تراوحت قيم  $E_d$  للخلطات الحاوية على RCA ما بين  $47.5 \times 10^3$  -  $61.7 \times 10^3$  نيوتن/مم<sup>2</sup> بينما سجلت الخلطات الحاوية على RRA قيم تراوحت من  $37.9 \times 10^3$  -  $61.7 \times 10^3$  نيوتن/مم<sup>2</sup>. قيم معامل المرونة الديناميكي تتأثر بقيم كلا من سرعة الموجات والكثافة الجافة حيث ان كلاهما انخفاض بزيادة نسبة الركام المُستبدل وبالتالي أدى الى انخفاض معامل المرونة الديناميكي.

#### اختبار مطرقة الارتداد

الشكل (6) يوضح نتائج اختبار مقاومة الانضغاط المخمنة بواسطة مطرقة الارتداد، تم إجراء الاختبار وفقا للمواصفة ASTM [C805-18]. مع زيادة نسبة الركام المستبدل من كلا النوعين انخفضت قيم رقم الارتداد وبالتالي انخفاض مقاومة الانضغاط للعينات المختبرة، كما أظهرت النتائج ان الخلطات الحاوية على RCA كانت نسب الانخفاض في المقاومة اقل بشكل طفيف مقارنة بالخلطات

الحاوية ركام من النوع RRA، حيث سجلت الأولى نسب انخفاض تراوحت من 6 - 29% بينما سجلت الثانية انخفاضا بمقدار 8 الى 33% مقارنة بالخلطة المرجعية والتي سجلت 50 نيوتن/مم<sup>2</sup>.

ونظرا لان الركام المعاد تدويره من الخرسانة (العادية أو المطاطية) كان ذو جودة اقل من الركام الطبيعي (جدول 4) فإن ذلك سوف يؤدي الى انخفاض مقاومة الخلطات مع زيادة نسبة الاستبدال وكذلك مع زيادة نسبة إضافة الركام المعاد تدويره من RRA تم ملاحظة زيادة نسبة الفجوات بالخلطة وهذا يفسر انخفاض مقاومة الخلطات الحاوية على هذا النوع مقارنة بالخلطات الأخرى [27, 3].

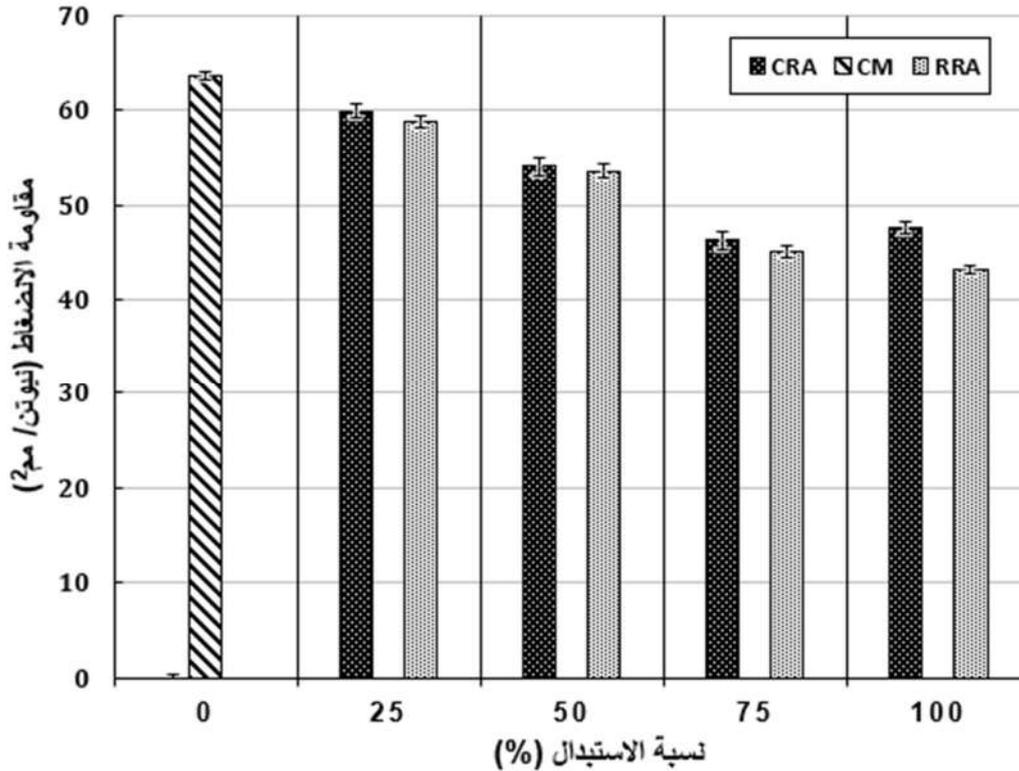


شكل 6: مقاومة الانضغاط المخمنة بواسطة مطرقة الارتداد

#### اختبار مقاومة الانضغاط

بعد إجراء الاختبارات اللاإتلافية على العينات المختلفة يتم تحديد مقاومة الانضغاط لها بواسطة اختبار مقاومة الانضغاط الإتلافي باستخدام آلة فحص مقاومة الانضغاط وذلك طبقا للمواصفة [BS EN 12390-3: 2009]. تم اختبار ثلاث عينات مكعبة بأبعاد (100×100×100 مم) لكل خلطة واخذ المتوسط الحسابي لها. شكل (7) يوضح نتائج اختبار مقاومة الانضغاط للخلطات المختلفة. بينت النتائج ان مقاومة الانضغاط قد انخفضت مع زيادة نسبة الركام المستبدل، حيث تفاوتت نسب الانخفاض للخلطات الحاوية على ركام من النوع CRA ما بين 6 - 25% بينما أدى استبدال الركام الطبيعي بركام من النوع RRA الى

انخفاض مقاومة الانضغاط بنسب تراوحت من 8 الى 32% مقارنة بالخلطة المرجعية والتي كانت مقاومة الانضغاط لها 63.58 نيوتن/مم<sup>2</sup>. سجلت الخلطات الحاوية على ركام من النوع CRA مقاومة انضغاط تراوحت من 47.6 الى 59.92 نيوتن/مم<sup>2</sup> في حين سجلت الخلطات الحاوية على ركام من النوع RRA مقاومة انضغاط تراوحت من 43.08 الى 58.77 نيوتن/مم<sup>2</sup>. مقاومة الانضغاط للخلطات الحاوية على ركام من النوع CRA كانت اعلى من مقاومة الانضغاط للخلطات الحاوية على ركام من النوع RRA لنفس نسب الاستبدال.



شكل 7: نتائج اختبار المكعبات الخرسانية

الانخفاض في مقاومة الانضغاط للخرسانة الحاوية على الركام المعاد تدويره يرجع الى ان جودة الركام المعاد تدويره اقل من جودة الركام الطبيعي [28]. كما ان الانخفاض في مقاومة الانضغاط يمكن ان يكون نتيجة ضعف الترابط بين المونة القديمة المحيطة بحبيبات الركام المعاد تدويره والمونة الجديدة حيث تعتبر المونة القديمة نقطة ضعف ومن الممكن ان تؤثر على تطور الخواص الميكانيكية، بالإضافة الى ذلك فإن سمك ITZ يكون أكبر من في حالة الركام المعاد تدويره منه في حالة الركام الطبيعي وبالتالي يزيد من امتصاص الماء وبالتالي يقلل من كمية الماء اللازم لإتمام عملية الاماهة للأسمنت وبالتالي يؤثر على المقاومة النهائية للخلطة [30,29,23].

## تخمين مقاومة الانضغاط باستخدام الطريقة المشتركة

تعتبر مقاومة الانضغاط من اهم الخصائص الميكانيكية للخرسانة واحد اهم المؤشرات على جودتها، كما إن تقييم هذه الخاصية باستخدام الاختبارات اللاإتلافية يشوبه العديد من العوامل والتي تؤثر على القيم المخمنة بواسطة هذه الطرق. فمثلا حالة سطح العينة له تأثير على النتائج المتحصل عليها، حيث إن العينة المبتلة تؤدي الى تقليل رقم الارتداد وزيادة سرعة الموجات فوق الصوتية الامر الذي يؤدي الى تفاوت النتائج بين الاختبارين ولتغلب على هذه المشكلة يتم اللجوء الى الطريقة المشتركة لتخمين المقاومة وباستخدام أكثر من اختبار الامر الذي يؤدي الى تقليل هامش الخطأ. المعادلة التجريبية المشتقة (3) تمثل العلاقة بين النتائج المتحصل عليها من الاختبارات اللاإتلافية (مطرقة الارتداد والموجات فوق الصوتية) ومقاومة الانضغاط وفقا للمواصفة [BS EN 12390-3: 2009].

نظرا لاختلاف نوع الركام المستبدل فقد تم استنتاج علاقة تربط بين مقاومة الانضغاط ونتائج الاختبارات اللاإتلافية لكل نوع ركام على حده. المعادلة (3) توضح العلاقة بين مقاومة الانضغاط والنتائج المتحصل عليها من اختبارات مطرقة الارتداد والموجات فوق الصوتية للخرسانة الحاوية على ركام من النوع RCA. أعطت المعادلة ارتباطا قويا مع النتائج المتحصل عليها حيث كان معامل الارتباط (( $R=0.966$ ) كما إن نسبة الخطأ كانت في حدود  $\pm (5 - 6.4\%)$ . المعادلة (4) توضح العلاقة بين النتائج المتحصل عليها من الاختبارات اللاإتلافية ومقاومة الانضغاط للخرسانة الحاوية على ركام معاد تدويره من الخرسانة المطاطية. أوضحت المعادلة ان هنالك ارتباط قويا بين النتائج المتحصل عليها من الاختبارات المختلفة حيث كانت قيمة معامل الارتباط ( $R=0.984$ ) كما إن نسبة الخطأ كانت في حدود  $\pm (4.6 - 5\%)$ .

$$(3) \quad f_c = -13.3616 + 4.725 UPV + 1.004 Rc$$

$$(4) \quad f_c = -8.4516 + 3.008 UPV + 1.105 Rc$$

حيث ان:

$f_c$  : مقاومة الانضغاط المخمنة لمكعب بأبعاد 100 مم (نيوتن/مم<sup>2</sup>) ؛

$UPV$  : سرعة الموجات (كم/ث) ؛

$Rc$  : مقاومة الانضغاط المخمنة بواسطة مطرقة الارتداد(نيوتن/مم<sup>2</sup>).

## الاستنتاجات

هذه الدراسة تم اجراءها لتقييم الخرسانة الحاوية على ركام معاد تدويره من خرسانة عادية وخرسانة مطاطية بنسب استبدال تتراوح من 25 - 100% حجما من وزن الركام الطبيعي، وذلك لفهم سلوك هذه المادة باستخدام الاختبارات الايتلافية اللاإتلافية، بناءً على النتائج المتحصل عليها يمكن ان نستنتج ما يلي:

1. إضافة الركام المعاد تدويره الى الخرسانة أدى الى انخفاض مقاومة الانضغاط وازداد الانخفاض مع زيادة نسبة الركام المستبدل، كما ان الخلطات الحاوية على ركام من النوع RCA سجلت مقاومة اعلى من الخلطات الحاوية على ركام من النوع RRA لنفس نسب الاستبدال. اقل مقاومة الانضغاط كانت للخلطة 100RRA والتي سجلت مقاومة مقدارها 43.08 نيوتن /مم<sup>2</sup> وذلك في حدود 32% مقارنة بالخلطة المرجعية حيث إنه رغم الانخفاض في المقاومة الا أن المقاومة المتحصل عليها لجميع الخلطات كانت جيدة.
2. أثر استبدال الركام الطبيعي بركام معاد تدويره بشكل طفيف على الكثافة الجافة، حيث أدى الى انخفاضها بنسب وصلت الى 4% و 10% للركام من النوع RCA و RRA على التوالي لنسبة استبدال 100%. الركام من النوع RRA أثر بشكل أكبر على كثافة الخرسانة لقلّة وزنه النوعي بسبب احتوائه على حبيبات المطاط.
3. نسبة الامتصاص لجميع الخلطات كانت اقل من 10% باستثناء خلطة الخلطة الحاوية على 100% من الركام RRA والتي كانت نسبة الامتصاص لها 10.5%. من هذا الجانب تعتبر الخرسانة ذات خصائص مقبولة [17].
4. إدي إضافة الركام المعاد تدويره (كلا النوعين) الى انخفاض سرعة الموجات فوق الصوتية حيث وصلت اقصى انخفاض الى 18% و 19% لركام من النوع CRA و RRA على التوالي مقارنة بالخلطة المرجعية والتي سجلت 5.8 كم/ث. لجميع الخلطات كانت اقل قيم لسرعة الموجات تم تسجيلها 4.7 كم/ث وهي أكبر من 4.575 كم/ث وبذلك تعتبر جميع الخلطات ذات جودة ممتازة [21].
5. مقاومة الانضغاط المخمنة بواسطة مطرقة الارتداد لجميع الخلطات كانت اقل من مقاومة الانضغاط بالطريقة الانتلاقية حيث كانت نسب الانخفاض 25% للخلطة المرجعية وتراوحت من 25 الى 29% للخلطات الحاوية على ركام من النوع CRA بينما كنت نسب الانخفاض من 23 الى 29% للخلطات الحاوية على الركام من النوع RRA. ويرجع السبب الى ان اختبار مطرقة الارتداد أكثر حساسية لنوع الركام وسطح العينة من الاختبارات الأخرى.
6. استخدام الطريقة المشتركة لتخمين مقاومة الانضغاط اعطى نتائج مقارنة للنتائج المعملية حيث لم تتجاوز نسبة الخطأ 7%.
7. ان أبرز ما يعيق استخدام الركام المعاد تدويره من مخلفات البناء والخرسانة هو عمليات الإنتاج والفرز والمتمثلة في تكلفة هذه العملية وما تحتاجه من معدات. ومن جانب اخر فإن اعتماد مثل هذه التطبيقات يمكن ان يقلل من تكلفة الانشاء والحاجة الى المقالب العمومية.

## المراجع

1. Environmental Protection Agency. Construction and Demolition Materials. Available online: <https://www.epa.gov/sustainable-management-construction-and-demolition-materials>
2. Michele, M. E. (2022). US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2022.

3. Wang, B., Yan, L., Fu, Q., & Kasal, B. (2021). A comprehensive review on recycled aggregate and recycled aggregate concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 171, 105565.
4. Fadiel, A. (2015). A review of properties of concrete containing crumb rubber from used tires. In *Proceedings of the 13th Arab Structural Engineering Conference*, Blida, Algeria, 13–15 December 2015 (In Arabic).
5. Fadiel, A.; Abu-Lebdeh, T. (2021). Mechanical Properties of Concrete Including Wood Shavings as Fine Aggregates. *Am. J. Eng. Appl. Sci.*, 14, 478–487.
6. Tam, V. W., Soomro, M., Evangelista, A. C. J., & Haddad, A. (2021). Deformation and permeability of recycled aggregate concrete–A comprehensive review. *Journal of Building Engineering*, 44, 103393.
7. Joseph, H. S., Pachiappan, T., Avudaiappan, S., Maureira–Carsalade, N., Roco–Videla, Á., Guindos, P., & Parra, P. F. (2023). A comprehensive review on recycling of construction demolition waste in concrete. *Sustainability*, 15(6), 4932.
8. Wang, J., Zhang, J., Cao, D., Dang, H., & Ding, B. (2020). Comparison of recycled aggregate treatment methods on the performance for recycled concrete. *Construction and Building Materials*, 234, 117366.
9. Masood, B., Elahi, A., Barbhuiya, S., & Ali, B. (2020). Mechanical and durability performance of recycled aggregate concrete incorporating low calcium bentonite. *Construction and Building Materials*, 237, 117760.
10. Fadiel, A. A., Mohammed, N. S., Abu-Lebdeh, T., Munteanu, I. S., Niculae, E., & Petrescu, F. I. T. (2023). A Comprehensive Evaluation of the Mechanical Properties of Rubberized Concrete. *Journal of Composites Science*, 7(3), 129.
11. Fadiel, A. A., Abu-Lebdeh, T., Munteanu, I. S., Niculae, E., & Petrescu, F. I. T. (2023). Mechanical Properties of Rubberized Concrete at Elevated Temperatures. *Journal of Composites Science*, 7(7), 283.
12. Fadiel, A. (2022). Estimating of Compressive Strength of Rubberized Concrete Using Destructive and Non–Destructive Test Methods. *Proceedings of the NCBMSE*.
13. ASTM C150/C150M–17, standard specification for Portland cement. Am. Soc. Test. Mater. West Conshohocken, PA, USA.

14. ASTM C805/C805M-08, Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA, USA.
15. ASTM C597-09, Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA, USA.
16. Ataria, R. B., & Wang, Y. C. (2022). Mechanical properties and durability performance of recycled aggregate concrete containing crumb rubber. *Materials*, 15(5), 1776.
17. A. M. Neville (1996), *Properties of Concrete: Fourth and Final Edition* 4th Edition, Publisher: Wiley; 4th edition (July 25, 1996), 844 pages. ISBN-13: 978-0470235270.
18. Fadiel, A. A., Abu-Lebdeh, T., & Petrescu, F. I. T. (2022). Assessment of woodcrete using destructive and non-destructive test methods. *Materials*, 15(9), 3066.
19. Qurashi, M.A.; Shah, S.A.R.; Farhan, M.; Taufiq, M.; Khalid, W.; Arshad, H.; Waseem, M. Sustainable Design and Engineering: A Relationship Analysis between Digital Destructive and Non-Destructive Testing Process for Lightweight Concrete. *Processes* 2019,7, 791.
20. Salman, M.M.; Al-Amawee, A.H. (2006). The ratio between static and dynamic modulus of elasticity in normal and high strength concrete. *J. Eng. Dev.*, 10, 163-174.
21. BS1881-203:1986; *Testing Concrete—Part 203: Recommendations for Measurement of Velocity of Ultrasonic Pulses in Concrete*. British Standard Publications: London, UK, 1986.
22. Shi, C., Li, Y., Zhang, J., Li, W., Chong, L., & Xie, Z. (2016). Performance enhancement of recycled concrete aggregate—a review. *Journal of cleaner production*, 112, 466-472.
23. Wang, R., Yu, N., & Li, Y. (2020). Methods for improving the microstructure of recycled concrete aggregate: A review. *Construction and Building Materials*, 242, 118164.
24. Lee, B. J., Kee, S. H., Oh, T., & Kim, Y. Y. (2017). Evaluating the dynamic elastic modulus of concrete using shear-wave velocity measurements. *Advances in materials science and engineering*, 2017.
25. Popovics, J. S., Zemajtis, J., & Shkolnik, I. (2008). A study of static and dynamic modulus of elasticity of concrete. *ACI-CRC Final Report*, 16.
26. Mehta, P. K., & Monteiro, P. (2006). *Concrete: microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill, 3rd edition, 1993.
27. Fadiel, A. (2013). *Use of Crumb Rubber to Improve Thermal Efficiency of Construction Materials*. Master's Thesis, North Carolina A&T State University, Greensboro, NC, USA.

28. N. Kisku et al., 2017. A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. *Construction and Building Materials*. 131, pp. 721–740.
29. Abed, M., Nemes, R., & Tayeh, B. A. (2020). Properties of self-compacting high-strength concrete containing multiple use of recycled aggregate. *Journal of King Saud University–Engineering Sciences*, 32(2), 108–114.
30. Shi, C., Li, Y., Zhang, J., Li, W., Chong, L., & Xie, Z. (2016). Performance enhancement of recycled concrete aggregate—a review. *Journal of cleaner production*, 112, 466–472.

## ايجاد العلاقة بين مقاومة الضغط للأسطوانة والمكعب للخرسانة مسبقة وضع الركام

د. عبد الحميد ابراهيم قناو - الخمس - ليبيا

استاذ مشارك، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة المرقب، ليبيا

engnaw12@gmail.com

### الملخص

تتمتع الخرسانة مسبقة وضع الركام منذ اكتشافها في ثلاثينيات القرن الماضي بالعديد من المزايا مثل الانكماش القليل جدا وصب الخرسانة تحت الماء ومقاومتها للظروف القاسية مثل الحرارة العالية وذلك للتلامس المباشر بين حبيبات الركام الخشن. تم انتاج هذه الخرسانة في عدة دول واختبرت مقاومة الضغط لها بواسطة قوالب مكعبة واخري اسطوانية. يتم انتاج الخرسانة برص الركام الخشن اولاً في القوالب ومن ثم حقن الفراغات المتبقية بمونة اسمنتية عالية التشغيلية.

تم اجراء هذا البحث لإيجاد العلاقة بين مقاومة الضغط للأسطوانة من المكعب مثل تلك العلاقة المعروفة للخرسانة العادية. نسب الخلط للمونة كانت 0.4 و 0.45 و 0.50 بين الماء للإسمنت، وثلاثة نسب رمل للإسمنت (1.2/1 1/1 & 1/0.8) وكانت كل الخلطات ذات تشغيلية كافية لتمر بين حبيبات الركام وتملا القالب وذلك بمساعدة المدنات الفائقة بنسبة 0.5% من وزن الاسمنت.

من المعطيات المتحصل عليها وبعد تحليل النتائج تم الحصول على علاقة جيدة لمقاومة الضغط بين العينات الاسطوانية والمكعبة الشكل للخرسانة مسبقة وضع الركام وذلك من خلال معامل الارتباط وذلك في حدود المقاومة المدروسة، وعليه فيمكن للمهندسين والباحث ان يعتمدوا على هذه المعادلة في مدي مقاومة الضغط المختبرة.

الكلمات الدالة: الخرسانة مسبقة وضع الركام، مقاومة الضغط، المدنات الفائقة، المونة، الركام

### 1. المقدمة

نظرا للاستعمال المستمر والحاجة لا نتاج الخرسانة العادية بشكل عام والتطور الحاصل لا نتاج وتطوير الخرسانة فقد تم تصنيع الخرسانة مسبقة وضع الركام والتي فيها يتم رص الركام اولاً ومن ثم تحقن بمونة اسمنتية خلال فراغات هيكل الركام الخشن. تتميز الخرسانة مسبقة وضع الركام بالعديد من الصفات اهمها الانكماش القليل جدا مقارنة بالخرسانة العادية نظرا للتماس بين حبيبات الركام الخشن المرصوص في المرحلة الاولى كما انه يمكن صب الخرسانة تحت الماء بوضع الركام اولاً في الشدات بواسطة غواصين وترتيب انابيب لضخ المونة الاسمنتية تسحب للأعلى كلما تمت مرحلة من الانشاء ثم يوضع ركام اخر وتضخ المونة وهكذا الي ان تتم عملية الصب [1,2,3] كما انه تم صب كميات كبيرة بهذه التقنية في روسيا وبولندا وعدة دول اخري وخاصة تحت الماء [1,2]. كما استعملت الاضافات المدنة والرماد المتطاير لإعطاء قابلية تشغيل عالية لإتمام عملية الحقن [4,5]. تم انتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام محليا في الصيف لاختبار صلاحيتها لمقاومة الجو الحار ووجد انها اقل حساسية للمعالجة المبثلة السيئة في الصيف مما يؤكد ملائمتها للظروف السيئة [6]

وبناء علي دراسة اخري والتي كانت للمقارنة او لا يجاد علاقة بين نتائج مقاومة الضغط للأسطوانة ونفس الشيء للمكعب فقد تم التوصل الي علاقة عامة بينهما فوجد ان مقاومة الضغط للعينات الاسطوانية تساوي 70 % من نظيراتها للمكعب للخرسانة العادية [7]. ومن ناحية اخري تبين لباحثان اخران ان مقاومة العينات الاسطوانية في الغالب تتراوح من ال 60% الي ال 70% من تلك العينات مكعبات الشكل وهذا ما يتفق مع الدراسة السابقة بينما أكد الباحثان انه العلاقة تؤول للتساوي في حالة الخرسانة العادية عالية المقاومة [8]. وفي دراسة قام بها باحثان اخران للمقارنة بين الاسطوانة والمكعب في الضغط وجدا انه علي الرغم انها تقريبا 80% الا انها غير ثابتة وتتغير بتغير مقاومة الضغط [9]

مما سبق يتبين اهمية انتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام لمزاياها المختلفة ونظرا لعدم وجود علاقة بين مقاومة الضغط للأسطوانة تربطها مع نظيرتها تلك للمكعب فانه توجب اجراء هذه الدراسة لإيجاد تلك العلاقة.

## 2- استراتيجية البحث

تم تصميم خلطات المونة الاسمنتية المراد حقنها في هيكل الركام الخشن الموضوع مسبقا في القوالب المكعبة والقوالب الاسطوانية على اساس ثلاث نسب ماء للإسمنت (w/c) 0.4 و 0.45 و 0.5 وثلاث نسب رمل للإسمنت (s/c) 1.2/1 و 1/1 و 0.8/1 تم تثبيت نوع الركام الخشن ونوع وكمية الملدن وهي 0.5% بناء علي خلطات تجريبية. العدد الاجمالي للخلطات 9 ولكل خطة أربع مكعبات واربعة اسطوانات.

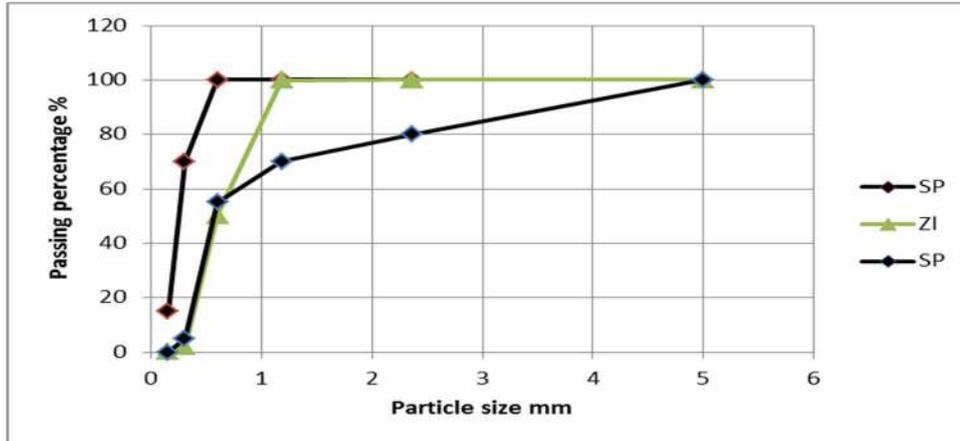
اجريت عملية خلط المونة الاسمنتية بواسطة خلاطة ميكانيكية سعتها حوالي 40 لتر. تم خلط الاسمنت والركام الناعم اولاً في الخلاطة لمدة دقيقة بعدها تمت اضافة الماء والذي تمت اذابة الاضافة به مسبقا واستمر الخلط دقيقتين اخري أي بإجمالي 3 دقائق للخلط.

قبل عملية الحقن تم وضع انبوب بلاستيكي بقطر 2 مم وارتفاع 2 متر في القالب وملا القالب بالركام الخشن. بعدها تم صب المونة عالية التشغيلية في قمع اعلي الانبوب لكي تمر تحت تأثير وزنها خلال الانبوب وتتخلل الفراغات ما بين حبيبات الركام الخشن. بعدها تم سحب الانبوب وسوي السطح. بعد 24 ساعة تم فك القالب ووضعت الخرسانة مغمورة بالماء حتى يوم الاختبار وهو 28 يوم.

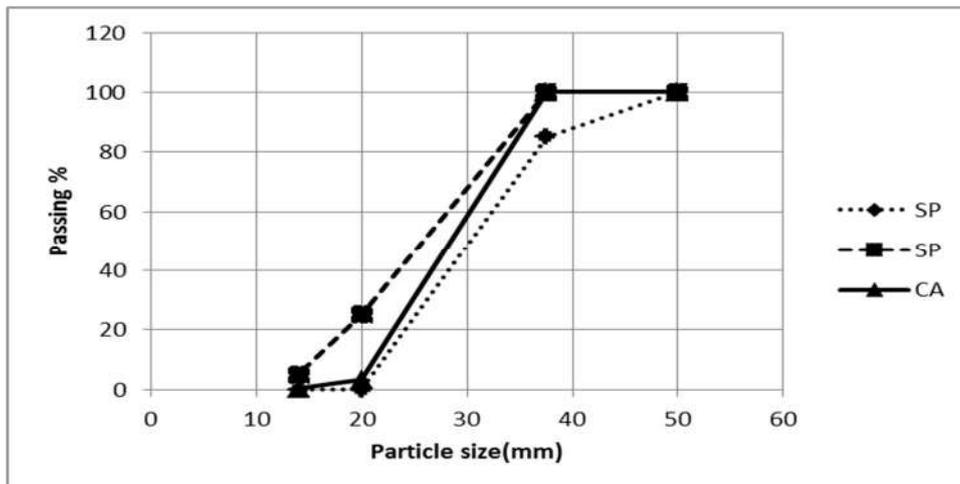
## 3- المواد المستعملة

الاسمنت المستعمل في البحث من انتاج مصنع المرقب بالخمس بمعامل نعومة 3396 جم/سم<sup>2</sup>. وثبات الحجم 1 مم كما استعمل ماء لخلط الخرسانة صالح للشرب من شبكة كلية الهندسة. اما الركام الناعم فقد استعمل رمل مورد من محاجر منطقة زليتن وهو ركام ذو تدرج جيد كما هو موضح في شكل 1 ويقع ضمن حدود التدرج للمواصفة البريطانية BS882:1992 [11,10] احجام معظم حبيباته تقع ما بين 150 ميكرون الي 600 ميكرون ذو وزن نوعي 2.5 ونسبة امتصاص 2.53 %. اما فيما يخص الركام الخشن فيتكون من كسر الحصى والحجر مقاس حبيباته من 20 الي 37.5 مم تم استجلايه من جهاز السكك الحديدية تدرجه الحبيبي يقع ضمن مواصفة التدرج الخاصة بالخرسانة مسبقة وضع الركام كما هو موضح في شكل 2. الوزن النوعي للركام الخشن 2.67 ونسبة

امتصاصه 1.93% [12]، نظرا للحاجة لا نتاج مونة اسمنتية بقابلية تشغيل عالية فقد استعملت اضافة خرسانية فائقة الفعالية نوع FX6 مصنعة من شركة (Agel) واستعملت لجميع الخلطات بنسبة 0.5% من وزن الاسمنت [13]



شكل رقم (1): التدرج الحبيبي للركام الناعم

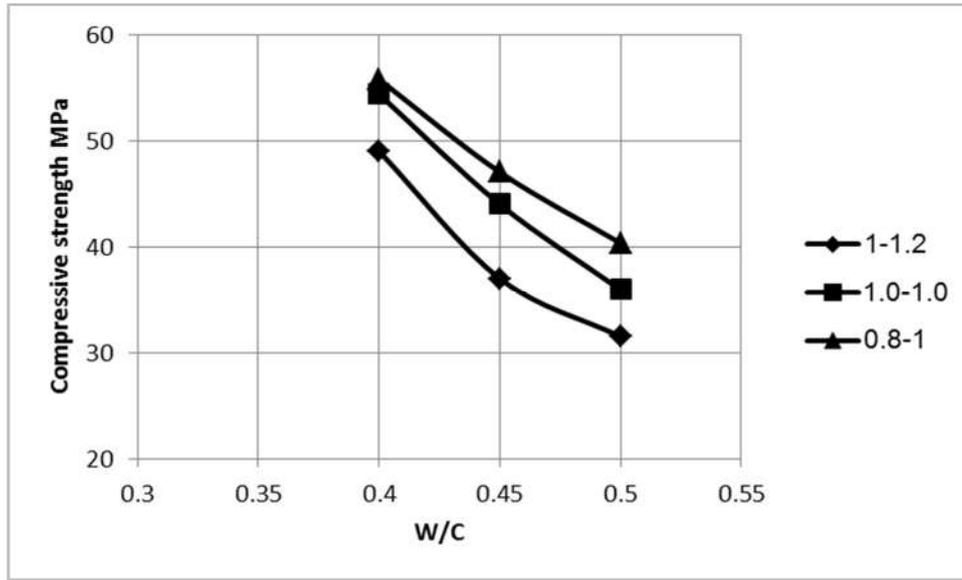


شكل رقم (2): التدرج الحبيبي للركام الخشن

## 4- مناقشة النتائج

## 1.4- مقاومة الضغط للخرسانة مكعبة الشكل

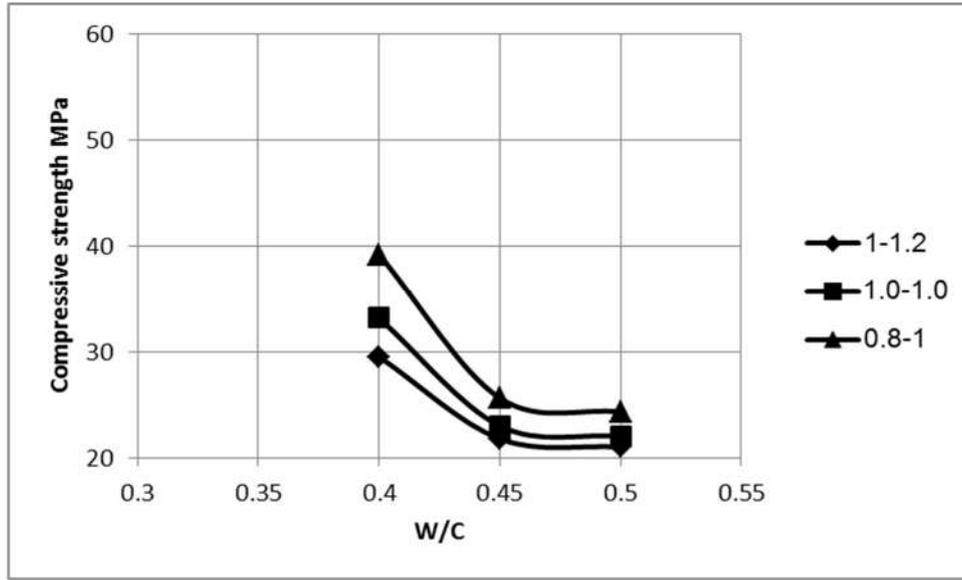
الشكل 3 يوضح العلاقة بين مقاومة الضغط ونسبة الماء للأسمنت لعينات الخرسانة مكعبة الشكل. من الواضح ان اعلي مقاومة نتجت من النسبة 1 الي 0.8 والتي كانت فيها كمية الاسمنت اكثر من الرمل والعكس عند استعمال اعلي كمية من الرمل وهي 1.2 . وهذا يتماشى مع الوجهة المعروفة للخرسانة الغنية بالاسمنت فهي اعلي مقاومة ضغط.[14]



شكل رقم (3): العلاقة بين مقاومة الضغط ونسبة الماء للأسمنت للمكعب

## 2.4- مقاومة الضغط للخرسانة اسطوانية الشكل

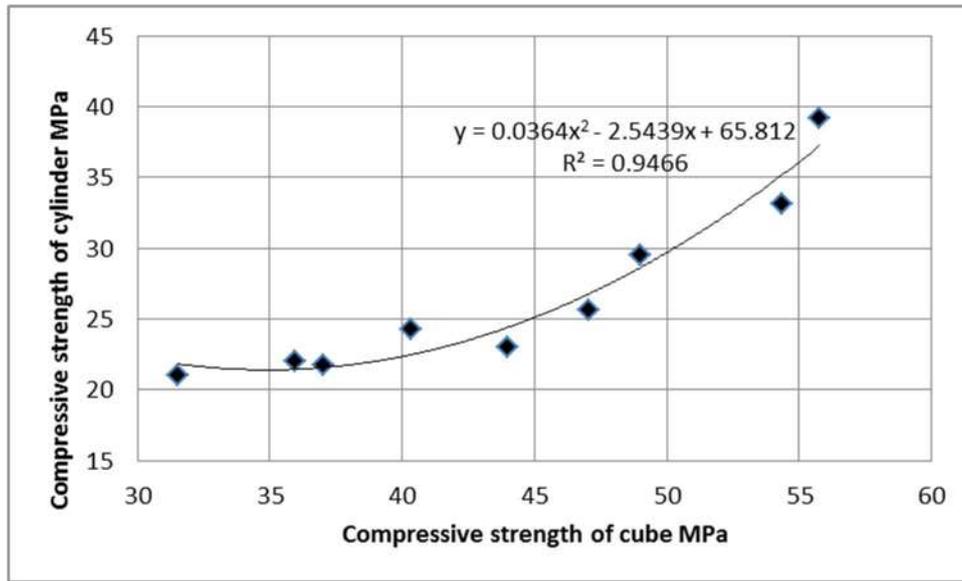
الشكل 4 يوضح العلاقة بين مقاومة الضغط ونسبة الماء للأسمنت لعينات الخرسانة الاسطوانية. كما في العينات المكعبة يتبين ان اعلي مقاومة نتجت من النسبة 1 الي 0.8 والتي كانت فيها كمية الاسمنت اكثر من الرمل والعكس عند استعمال اعلي كمية رمل وهي 1.2 . وهذا يتماشى مع الوجهة المعروفة للخرسانة الغنية بالاسمنت فهي اعلي مقاومة الضغط.



شكل رقم (4): العلاقة بين مقاومة الضغط ونسبة الماء للاسمنت للاسطوانة

من الجدير بالملاحظة ان المقاومة الناتجة من العينات الاسطوانية اقل من نظيراتها الناتجة من القوالب مكعبة الشكل بسبب انحسار العينة تحت تأثير آلة التكسير للمكعبات مما ينتج مقاومة اعلي من تلك الحرة للاسطوانة . وكذلك ملاحظة ان تأثير نسبة الماء للاسمنت قليل علي المقاومة للعينات الاسطوانية وذلك لضعف مقاومة الضغط بعد نسبة الماء للاسمنت 0.45

لايجاد العلاقة لمقاومة الضغط بين الاسطوانة والمكعب تم اسقاط جميع النتائج في البحث كما هو مبين في الشكل 5 وتم توصيل النقاط للحصول علي اعلي ارتباط بين النقاط. افضل علاقة تم التوصل اليها هي معادلة متعددة الحدود بمعامل ارتباط حوالي 95%. وفي هذه الحالة يمكن اعتماد هذه الدالة لايجاد العلاقة بين عينات الاسطوانة والمكعب للخرسانة مسبقة وضع الركام. بالنظر الي ما اذا كانت هناك نسبة ثابتة بين المقاومة للاسطوانة والمكعب يتبين ان النسبة غير ثابتة لانها تتغير بتغير المقاومة وهذه النتيجة تتفق بما عرضه الباحثان كامفات وياتل سنة 2014 والخاصة بالخرسانة العادية ولكن في هذه الحالة لا تقترب من ال100%. ولكن النسبة في هذه الدراسة تتراوح ما بين 60% الي 70% حسب المقاومة المدروسة وهو ما يتفق مع نتائج دراسة كامفات وياتل لمقاومة الضغط للخرسانة العادية



شكل رقم (5): العلاقة بين مقاومة الضغط للأسطوانة ومقاومة الضغط للمكعب

#### 4- الخلاصة

من خلال الدراسة العملية التي تم فيها إنتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام واختبار مقاومة الضغط للأسطوانة والمكعب تم استنتاج أهم نقطتين يتم عرضهم كالتالي:

- 1- تم ايجاد العلاقة بين عينات الخرسانة الاسطوانية والمكعبة للخرسانة مسبقة وضع الركام بالنسبة لنتائج مقاومة الضغط. وعليه يمكن للمهندسين والباحث العاملين علي إنتاج الخرسانة مسبقة وضع الركام استعمال هذه العلاقة في حدود المقاومة المختبرة
- 2- لوحظ ان النسبة بين مقاومة الضغط الاسطوانة للمكعب تقترب كلما زادت المقاومة وعليه نوصي باجراء دراسة يتم فيها اختبار عينات مقاومتها اعلي من المختبرة حتي تقترب النسبة من 100%

#### 5- المراجع

1. A. M. Neville, J.J Brooks. Concrete Technology. Hand Book. Pearson Education Limited, England, 2010
2. Awal A. Manufacture and properties of Preplaced aggregate concrete. Master Master thesis. University of Melbourne, Australia,1984, PP121
3. Abdelgader H. Effect of quantity of sand on the compressive strntrength of Two Stage Concrete. Magazine of concrete research, Vol. 48,1996, No 177

4. Abdelgader H. Khatib J., and Elbaden A. Self compacting grout to produce Two stage concrete. Second International sustainable Buildingd Symposium. Gazi University, Ankara, Turkey, 2015.
5. Abdelgader H., Elgalhud A. Effect of grout proportions on strength of two stage concrete. Structural concrete, Vol. 9,2008, No.,3
6. Ganaw A. Preplaced aggregate concrete in hot weather. Master thesis, Tripoli University, Tripoli, 2002.
7. Abdul Hafeez B., Qad B., and Basher A. Relationship between cubical and cylindrical compressive strength of recycled aggregate concrete. Civil engineering concrete, Quaide Awam University of Engineering and Technology, Newabshan Sindh, Pakistan, 2008.
8. Kumavat H., and Patel V. Factors influencing the strength relationship of concrete cube and standard cylinder. Internationaljournal of innovative technology and exploring engineering, Vol. 3, Issue 8, January 2014.
9. Babu D., Wei L. and Tim T. EN 206 Conformity testing for concrete strength in compression" Procedia Engineering 171, 2017, PP227- 237.
10. BS 882:1992. Specification for aggregate from natural sources for concrete – Aggregate gradation for concret. London,1992.
11. BS 812 – 109:1990. Testing aggregate, Part 109: Methods of determination of moisture content. London, 1990.
12. British Standards BS 812: 1992. Methods of Sampling and Testing of Mineral Aggregates, Sand and Filler. 1992.
13. XF6, Agel. High Performance Superplasticizer concrete admixture commercial Samples. Tripoli
14. BS EN 12390-3:2002. Testing hardened concrete, Part 3: compressive strength of test specimens. London, 2002.

## دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للركام الناعم من مصادر مختلفة في دولة ليبيا

جلال محمد المنفي<sup>1</sup>، أشرف أحمد محمود فضيل<sup>2</sup>، نجاح محمود عباس<sup>3</sup>

1 أستاذ - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة عمر المختار - البيضاء - ليبيا.

2 أستاذ مساعد - قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة عمر المختار - البيضاء - ليبيا.

3 طالبة دراسات عليا - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة عمر المختار - البيضاء - ليبيا

ashraf.fadiel@omu.edu.ly

## ملخص

تعتبر الخرسانة المادة الإنشائية الأكثر استخداماً في ليبيا وهذا يترافق مع استنزاف المواد الداخلة في إنتاجها بما فيها الركام الناعم والخشن واللذان يشكلان حوالي ثلثي المواد المكونة للخرسانة. ونظراً للمساحة الشاسعة لدولة ليبيا فإن مصادر الركام الناعم (الرمال) يتنوع ما بين ساحلي وصحراوي ونتيجة لقلّة الدراسات على الرمال الموجودة في المناطق المختلفة جعل معظم الرمال المستخدمة في الخرسانة متركزة في أماكن بعينها. يعتبر الرمل القريب من الشواطئ من أهم مصادر الرمل المستخدم في الخرسانة وخاصة في المناطق المطلة على المناطق الساحلية. تعرض الدراسة الحالية تقيماً للخواص الفيزيائية والكيميائية لعدد 16 عينة رمل تم جمعها من 15 موقعا موزعة على الساحل الشرقي والجنوب الشرقي والجنوب الغربي، تم تصنيفها الى مجموعتين المجموعة الأولى شملت الرمال ساحلية المصدر والثانية شملت الرمال صحراوية المصدر. حيث تم تقييم التدرج الحبيبي، الوزن النوعي، الامتصاص، المواد الناعمة ووزن وحدة الحجم وتحديد كمية الكلوريدات والكبريتات والنترات. أظهرت الدراسة ان معظم العينات المختبرات كانت مقاساتها ما بين الناعم الى المتوسط. كما أظهرت النتائج احتواء الرمال صحراوية المصدر على نسب عالية من المواد الناعمة تجاوزت 3%.

كلمات دالة: الركام الناعم، الخصائص الفيزيائية، الخصائص الكيميائية، المناطق الصحراوية، المناطق الساحلية.

## مقدمة:

من ضمن المواد الإنشائية تعد الخرسانة من أكثرها شيوعاً وانتشاراً حيث تشكل الخرسانة ثلثي مواد البناء المستخدمة في العالم ويشكل الركام ما يقارب ثلثي المواد المكونة للخرسانة. حول العالم يستخرج ما يقارب 40 مليار طن من الركام سنوياً وهذا يعادل 10 اضعاف كمية البترول المستخرج سنوياً [1].

يتشكل الركام الناعم طبيعياً نتيجة لتعرض الصخور وبعض المواد العضوية والمعادن للعوامل الجوية وعوامل التعرية المختلفة لفترات زمنية طويلة قد تمتد الى ملايين السنوات، تتمثل هذه العوامل في الرياح والأمطار في المناطق الصحراوية وأمواج البحار والمحيطات والانهيار في المناطق الساحلية ويضاف الى ذلك تعرض الصخور لدورات التجمد والذوبان في المناطق الباردة. ونظراً لان الركام الناعم يتكون في معظمه من السليكا والكوارتز والتي تجعله مادة صلبة خاملة كيميائياً ومقاومة عالية للظروف الجوية. ونظراً لطول الفترة الزمنية اللازمة لتكون الركام الناعم طبيعياً يمكن تصنيفه من الموارد الطبيعية الغير متجددة. يمكن انتاج الركام الناعم صناعياً من تكسير الصخور وتفتيتها الى مقاسات تتناسب مع مقاس الركام الناعم وعلى الرغم من هذه الطريقة تعد بديلاً جيداً لركام الطبيعي، إلا ان الاثار البيئية المتعلقة بمثل هذه الطرق تحد من استخدامها بشكل واسع [2].

تشمل الدراسة الحالية تقييم 16 عينة من الركام الناعم تم جمعها من عدة مواقع في الشمال والجنوب الشرقي لدولة ليبيا، وتقييمها من الناحية الفيزيائية والكيميائية. بعد المعاينة المبدئية للعينات تم اختبار جميع العينات لتحديد نسب الكلوريدات والكبريتات والنترات. للاختبارات الفيزيائية تم اختبار عدد 14 عينة حيث تم استبعاد العينات S9 و S10 بسبب تلوثها بمواد ومشتقات نفطية. الاختبارات الفيزيائية تم إجراء اختبار التحليل المنخلي والوزن النوعي والامتصاص ونسبة المواد الناعمة ووزن وحدة الحجم.

#### المواد المستخدمة

تم إجراء الاختبارات على عينات الرمل التي تم جمعها من 15 منطقة مختلفة من شرق والجنوب الشرقي لدولة ليبيا. حيث تم جمع عدد 7 عينات من المناطق الساحلية وعدد 9 عينات من مناطق الصحراوية الجدول 1 يوضح المواقع المختلفة لعينات الرمل.

جدول 1: مناطق الدراسة ورموز العينات

الرمز	الموقع	الرمز	الموقع
S9	البريقة	S1	درنة - خليج البمبه
S10	اجخرة	S2	درنة - الخنطه
S11	طبرق - القرضية	S3	بنغازي - شط البدين
S12	طبرق - جنزور	S4	الكفرة - المشروع الزراعي
S13	طريق (أوجلة - جالو)	S5	الجبل الأخضر - قصر ليبيا
S14	طريق (جالو - الكفرة)	S6	الجبل الاخضر - سوسة
S15	طريق (أجدابيا - جالو)	S7	براك الشاطئ - زلاف
S16	جغوب - الملفى	S8	الجفرة - ودان

#### الاختبارات المعملية:

تم إجراء الاختبارات الفيزيائية على عدد 14 عينة من الركام الناعم وإجراء الاختبارات الكيميائية على جميع العينات. حيث تم استبعاد العينات S9 و S10 (البريقة واجخرة) من الاختبارات الفيزيائية بسبب تلوثها بمشتقات نفطية. جميع العينات تم أخذها وفقا للمواصفة الليبية 2006/250 [3].

#### الاختبارات الفيزيائية:

التحليل المنخلي: يتم إجراء هذا الاختبار لتحديد التوزيع الحبيبي لعينات الركام الناعم والخشن وتحديد مدى مطابقتها للمواصفات ذات العلاقة. حيث تم إجراء هذا الاختبار طبقا للمواصفة الليبية (م ق ل 252 / 2006) والمواصفة البريطانية (BS 812: Part 103:1992) [4-5]. حيث تصنف المواصفة الركام الناعم حسب المار من المناخل القياسية حسب تدرجه الى ثلاث أنواع: ركام ناعم ومتوسط وخشن وذلك وفقا للجدول 2.

جدول 2: حدود تدرج الركام الناعم حسب المواصفة (م ق ل 49 - 2002) [6].

النسبة المئوية للركام المار من المنخل بالوزن			مقاس المنخل (مم)
تدرج خشن	تدرج متوسط	تدرج ناعم	
-	-	-	5.00
100 - 60	100 - 65	100 - 80	2.36
90 - 30	100 - 45	100 - 70	1.18
54 - 15	80 - 25	100 - 55	0.60
40 - 5	48 - 5	70 - 5	0.30
15 - 0	15 - 0	15 - 0	0.15

الوزن النوعي: الغرض من هذا الاختبار هو تعيين الكثافة النسبية للركام الناعم حيث تم اخذ العينات باتباع الطرق المنصوص عليها في المواصفة القياسية الليبية رقم (250) والخاصة بطرق أخذ العينات من المصادر الطبيعية. وتم إجراء الاختبار طبقاً للمواصفة الليبية (م ق ل 256 / 2006) [7].

الامتصاص: تم إجراء الاختبار باتباع الطرق المنصوص عليها في المواصفة الليبية (م ق ل 256 / 2006) [7].

نسبة المواد الناعمة: لإجراء الاختبار تم اعتماد المواصفة الليبية (م ق ل 252 / 2006) والتي تنص على ان اقل كمية لاختبار المواد ادق من 75 ميكرون لا تقل عن 30 جم لركام ذو مقاس 5 مم و اقل.

وزن وحدة الحجم: تحسب وحدة الحجم للركام الناعم بقسمة وزن معلوم من الركام على حجم اسطوانة قياسية التي تحوي ذلك الوزن.

#### الاختبارات الكيميائية:

تم تقدير محتوى كل من النترات والكلوريدات والكبريتات لعينات الرمال الساحلية والصحراوية من S1 إلى S16.

نسبة الكلوريدات: تم تقدير تركيز الكلوريدات في عينات الرمال بواسطة المعايرة الحجمية طبقاً للمواصفة البريطانية [8]. حيث يتم طحن العينة ويأخذ المار من المنخل 2.36 مم وتجفف في الفرن عند درجة حرارة 105 م نحضر (0.05N) من نترات الفضة ويؤخذ من 2 إلى 5 جرام من العينة ويضاف إليه حوالي 150 مل من ماء مقطر ويسخن لمد 15 دقيقة. عند درجة الغليان يرشح المحلول ويغسل ورق الترشيح 5 إلى 6 مرات بالماء الساخن ثم يبرد الراشح ونضيف له قطرات من محلول كرومات البوتاسيوم 5% ويعاير الراشح مع محلول نترات الفضة حتى يتحول لون من الأصفر إلي الأحمر ويسجل الحجم المستهلك مع التكرار ثلاث مرات.

يتم اخذ متوسط الحجم المستهلكة من نترات الفضة ويتم حساب تركيز الكلوريد المجهول من خلال قانون التخفيف (معادلة 1)

$$M_2 = M_1 \times \left( \frac{V_1}{V_2} \right) \quad (1)$$

حيث أن:

$M_1$  : تركيز نترات الفضة المعلوم مع متوسط الحجم المستهلك.

$M_2$  : تركيز المجهول مضروب في حجم الكلي 150 مل.

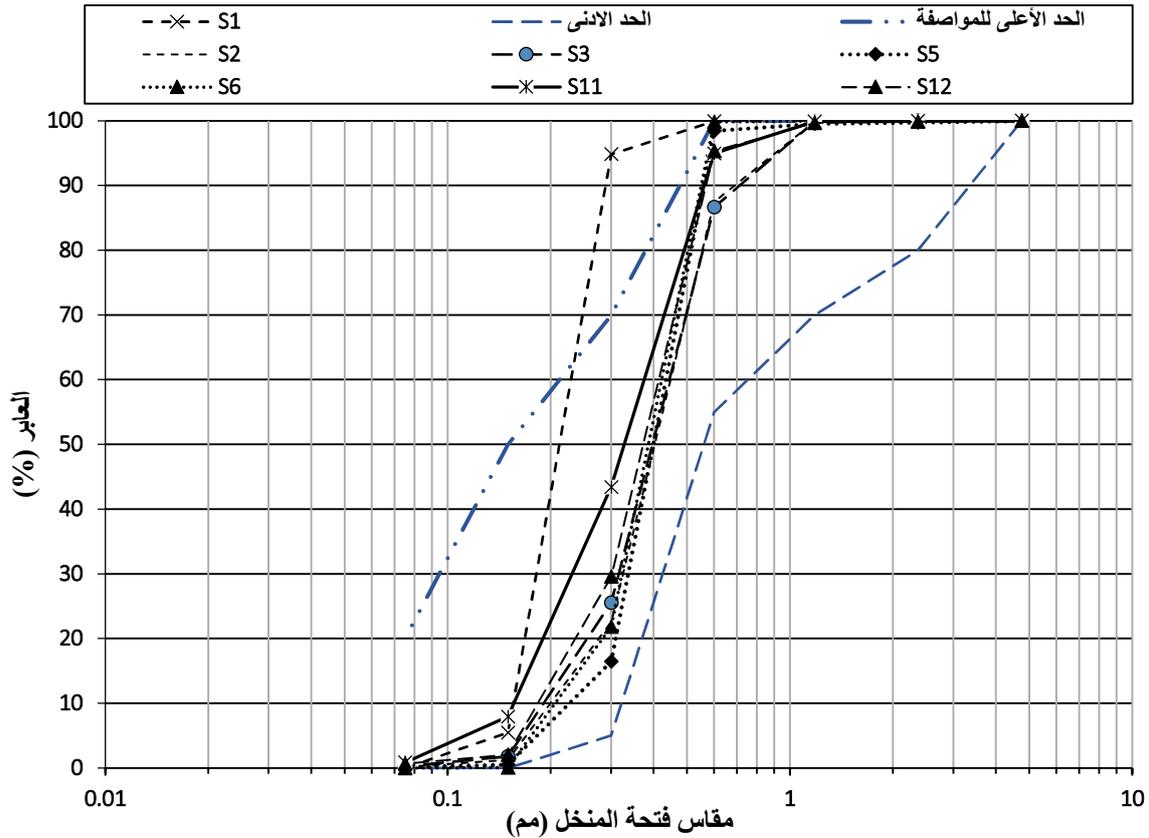
نسبة الكبريتات: يتم تقدير محتوى الكبريتات بواسطة التحليل الوزني طبقاً للمواصفة البريطانية [8]. حيث يتم تحضير العينة عن طريق طحن وتجفيف 2 إلى 5 جرام من العينة عند درجة حرارة 105 درجة مئوية، وإضافة 10 مل من حمض الهيدروكلوريك المركز، وغلي المحلول حتى يصل إلى 5 مل، وإضافة 50 مل من الماء المقطر، وغلي المحلول مرة أخرى حتى يصل إلى 5 مل. مل، وتصفية الخليط. يضاف 50 مل من محلول كلوريد الباريوم المشبع الساخن (10%)، ويغسل حوالي خمس مرات، ويرشح بورق ترشيح مقاس (44). وبعد ساعة يحرق الراسب في بوتقة معلومة الوزن عند 900 درجة مئوية ثم تحسب الكمية المتبقية (الكبريتات) بالفرق بين الوزنين.

نسبة النترات : تم تقدير تركيز النترات باستخدام جهاز المطياف الضوئي فوق البنفسجي والمرئي وتم ذلك في الخطوة الأولى يتم هضم جميع العينات باستخدام عدة أحماض وتخفيفها بحيث تكون محلول يمكن قياسه وفي الخطوة الثانية يتم تحضير المحاليل القياسية لنترات الصوديوم عن طريق تحضير المحلول القياسي الأم من نترات الصوديوم 1000مغ/لتر ثم تحضير 5 محاليل قياسية مخففة منه ثم يتم قياس الامتصاص للمحاليل القياسية بوضعها في خلية الكوارتز عند طول موجة 206 نانومتر والحصول على منحنى المعايرة جيد بين الامتصاص والتراكيز القياسية، ثم بعد ذلك يتم قياس محاليل العينات المجهولة وحساب قيمة الامتصاص لكل منها . ويتم حساب تركيز العينات المجهولة عن طريق علاقة خط المستقيم.

#### النتائج والمناقشة:

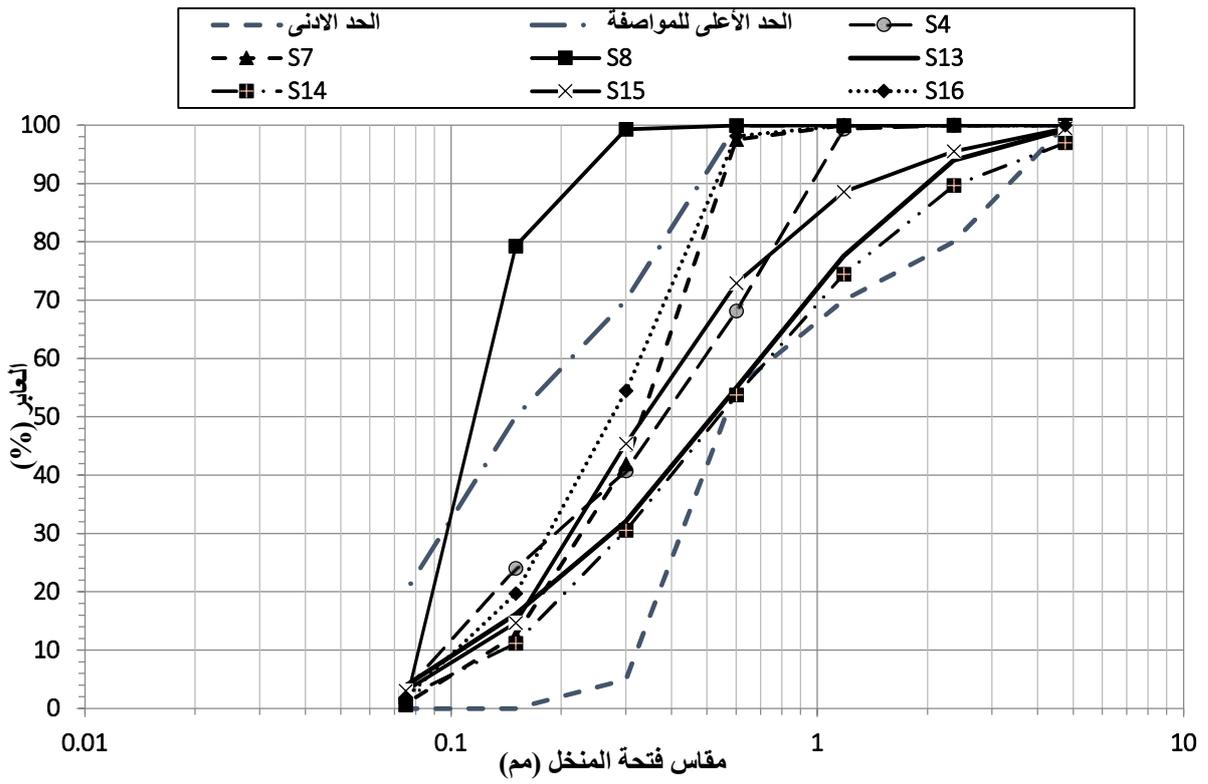
#### التحليل المنخلي:

أظهرت نتائج التحليل المنخلي للعينات ساحلية المصدر ان جميع العينات كانت في نطاق الرمل الناعم وذلك طبقاً للمواصفة الليبية 2002/49. الشكل (1) يوضح التدرج الحبيبي للعينات الساحلية مقارنة بحدود الرمل الناعم حسب المواصفة الليبية. أظهرت نتائج التحليل المنخلي للعينات الصحراوية ان تدرجها يتراوح من ناعم الى متوسط التدرج باستثناء العينة S8 (الجفرة) والتي كانت خارج حدود مواصفات الركام الناعم. حيث كانت العينات S14 و S15 (جالو - الكفرة وإجدابيا - جالو) ضمن نطاق التدرج للرمل المتوسط الخشونة فيما كانت باقي العينات ضمن التدرج المتوسط. الشكل 2 يوضح التدرج الحبيبي للرمال الصحراوية مقارنة بحدود الرمل الناعم الواردة بالمواصفة الليبية 2002/49.

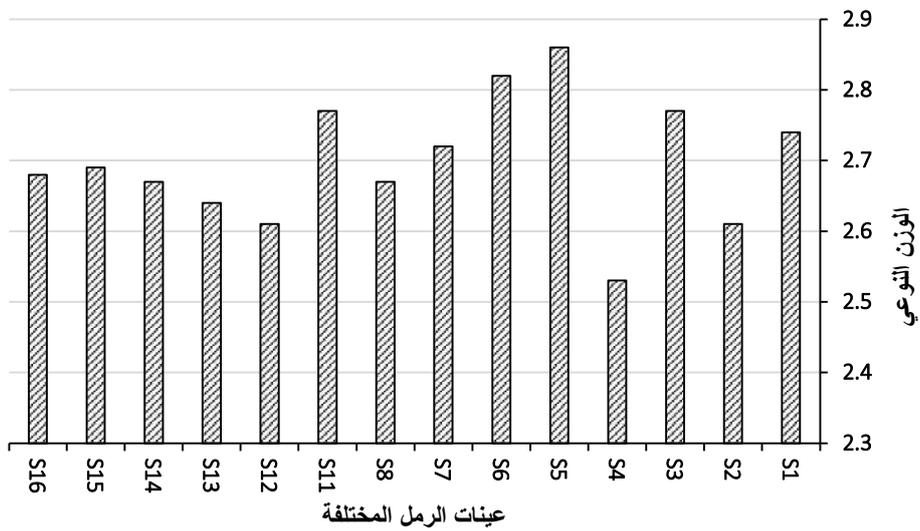


شكل 1: التدرج الحبيبي للعينات الرمل الساحلية

الوزن النوعي: الشكل (3) يوضح نتائج اختبار الوزن النوعي للعينات المختلفة. تراوحت قيم الوزن النوعي للعينات المختلفة ما بين 2.53 - 2.86. حيث سجلت العينات الساحلية قيم تراوحت من 2.61 الى 2.86 بينما تراوحت قيم الوزن النوعي للعينات الصحراوية من 2.53 الى 2.72. اقل قيمة وزن نوعي سجلت للعيينة S4 (الكفرة) بينما اعلى نسبة للوزن النوعي سجلت للعيينة S5 (قصر ليبيا). معظم عينات الركام كانت ضمن حدود المواصفة الليبية (2002/49) حيث تنص المواصفة على ان الوزن النوعي يجب ان يكزن في الحدود من 2.5 الى 2.75. العينات S3 و S11 (شط البدين والقرضبة) سجلت ارتفاعا بسيطا في قيم الوزن النوعي وكانت 2.77 فيما سجلت العينات S5 و S6 (قصر ليبيا وسوسة) قيم وزن نوعي تراوحت من 2.82 الى 2.86، نتائج الوزن النوعي تتوافق مع دراسات سابقة [9 - 10].

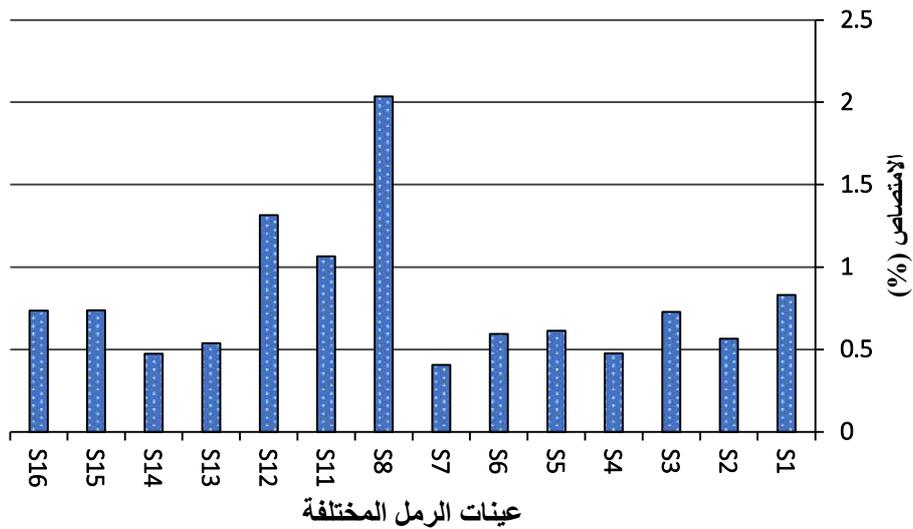


شكل 2: التدرج الحبيبي لعينات الرمل الصحراوية



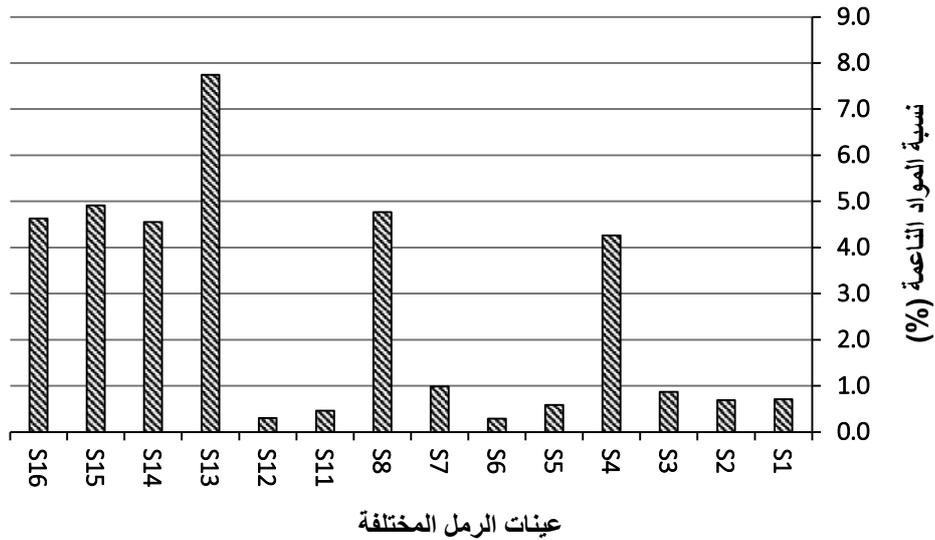
شكل 3: الوزن النوعي لعينات الرمل المختلفة

**الامتصاص:** الشكل (4) يوضح نتائج الامتصاص لعينة الرمل المختلفة. تراوحت نسب الامتصاص ما بين 0.41 - 2.04%. تراوحت نسبة الامتصاص للرمال ساحلية المصدر ما بين 0.41 الى 1.31% حيث سجلت العينة S1 (خليج البمبة) اقل قيمة امتصاص لجميع العينات. للعينات الصحراوية تراوحت نسب الامتصاص ما بين 0.47 الى 2.04% حيث سجلت العينة S8 (الجفرة) اعلى نسبة امتصاص. لجميع العينات كانت نسب الامتصاص اقل من 3% وهي النسبة المسموح بها من قبل المواصفات الليبية والمواصفات البريطانية للاستخدامها في انتاج الخرسانة (م ق ل 49 - 2002). نسب الامتصاص للعينات شط البدين تتوافق مع نتائج سابقة [9].



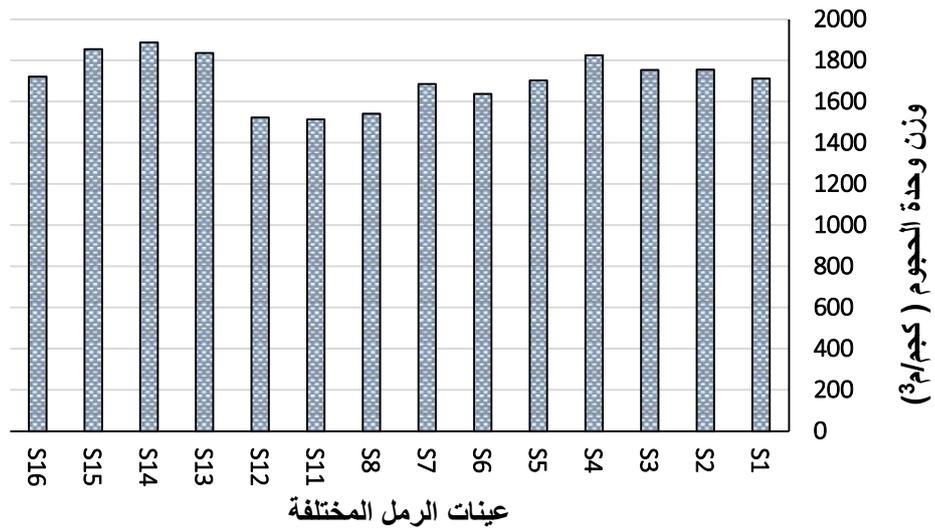
شكل 1: نسبة الامتصاص لعينات الرمل المختلفة

**نسبة المواد الناعمة:** الشكل (5) يوضح نتائج اختبار نسبة المواد الناعمة لعينات الرمل المختلفة. أظهرت نتائج اختبار المواد الناعمة للعينات الرمل المختلفة ارتفاع نسبة المواد الناعمة في الرمال الصحراوية مقارنة بالرمال الساحلية. حيث تراوحت نسبة المواد الناعمة من 0.29 - 0.87% للرمال الساحلية بينما تراوحت من 4.26 - 7.74% للرمال الصحراوية. سجلت العينة S13 (طريق أوجلة - جالو) اعلى نسبة مواد ناعمة بينما سجلت العينة S6 (سوسة) اقل نسبة للمواد الناعمة. تحدد المواصفة الليبية نسبة المواد الناعمة للرمال الطبيعية بنسبة 4% (م ق ل 49 - 2002).



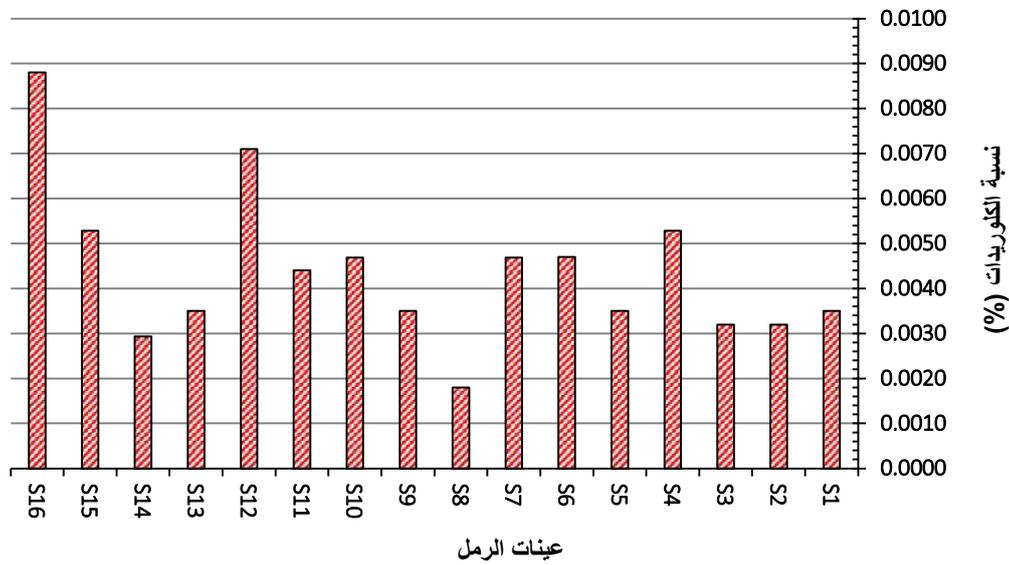
شكل 5: نسبة المواد الناعمة لعينات الرمل المختلفة

وزن وحدة الحجم: لإجراء الاختبار تم اعتماد المواصفة الأمريكية ASTM C:117-04. الشكل (6) يوضح وزن وحدة الحجم لعينات الرمل المختلفة. تراوح وزن وحدة الحجم للعينات المختلفة من 1513.6 الى 1886.4 كجم/م<sup>3</sup> حيث سجلت العينة S11 (القرضية- طبرق) اقل قيمة بينما سجلت العينة S14 (طريق جالو - الكفرة) اعلى قيمة. بشكل عام سجلت الرمال الصحراوية قيم وزن وحدة حجم اعلى من الرمال الصحراوية وذلك لارتفاع نسبة المواد الناعمة بها.



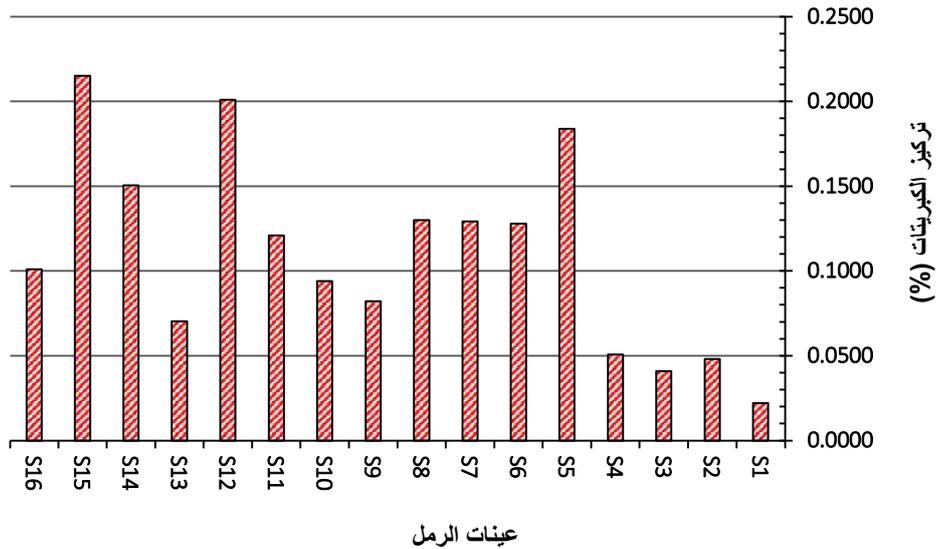
شكل 6: وزن وحدة الحجم لعينات الرمل المختلفة

**الكلوريدات:** النتائج توضح تراكيز الكلوريد ( $Cl^-$ ) في جميع عينات الرمل قيد الدراسة باستخدام المعايرة الحجمية وذلك طبقاً للمواصفة البريطانية [6]. الشكل (7) يوضح نسب الكلوريدات للعينات المختلفة. أشارت النتائج إلى أن نسبة الكلوريد في عينات الرمل الساحلية تراوحت ما بين 0.0032 - 0.0071% بينما للرمال الصحراوية كانت تراوحت نسبة الكلوريدات ما بين 0.0018 - 0.0088%. أعلى نسبة كلوريدات تم تسجيلها لرمال الجغبوب وكانت 0.0088% جميع العينات كانت نسبة الكلوريدات أقل من حدود المواصفة والتي تنص على أن نسبة الكلوريدات في الركام المستخدم في أعمال الخرسانة المسلحة تتراوح ما بين 0.03 و 0.05% وذلك وفقاً لنوع الاسمنت المستخدم في الخرسانة بناءً على ماورد بالموصفة القياسية الليبية (م ق ل 49 - 2002). ارتفاع مستوى الكلوريدات في مكونات الخرسانة يهدد حديد التسليح حيث إن وجود الكلوريدات أو تغلغلها داخل الخرسانة يؤدي إلى صدأ حديد التسليح على المدى الطويل [11].



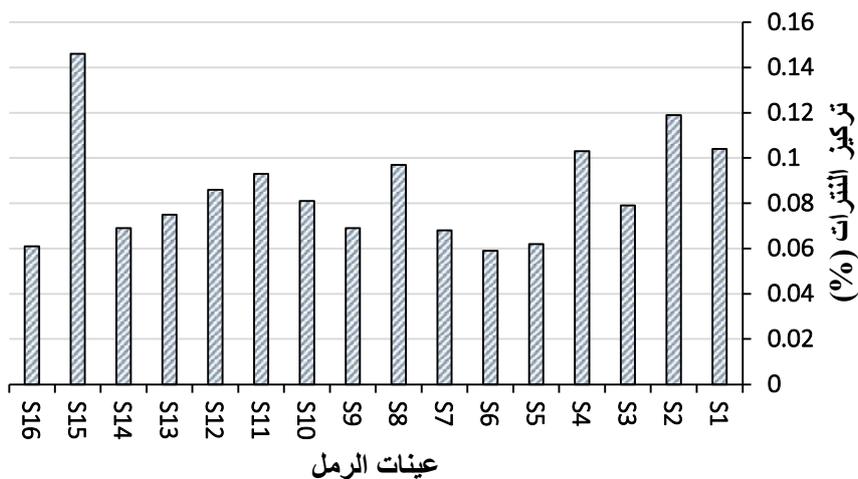
شكل 7: تركيز الكلوريدات في عينات الرمل المختلفة

**الكبريتات:** بينت النتائج إن تراكيز الكبريتات ( $SO_4$ ) في جميع عينات الرمل قيد الدراسة بالطريقة الوزنية أن مستويات الكبريتات في عينات الرمل تراوحت بين (0.022% - 0.2151%). الشكل (8) يوضح نسبة الكبريتات للعينات المختلفة. ولوحظ أن الحد الأدنى لمستوى الكبريتات لوحظ في عينة الرمال الساحلية رقم S1 من خليج البمبه (0.022%)، بينما لوحظ ارتفاع مستوى الكبريتات في عينة الرمال الصحراوية رقم S15 حيث كانت نسبة الكبريتات حوالي 0.2151%. طبقاً للمواصفة الليبية جميع العينات تصلح للاستخدام في الخرسانة العادية والمسلحة. زيادة محتوى املاح الكبريتات يؤثر سلباً على خصائص العجينة الاسمنتية حيث يؤدي إلى تكون كميات إضافية من بعض المكونات التي تسبب في زيادة الاجهادات الداخلية التي تؤدي إلى تكون شقوق في الخرسانة الامر الذي يؤدي إلى ضعفها [12].



شكل 8: تركيز الكبريتات في العينات المختلفة

**النترات:** وتم الحصول على نتائج العينات ومن خلاص النتائج تبين ان تراكيز النترات ( $NO_3$ ) في جميع عينات الرمال قيد الدراسة باستخدام جهاز المطياف الضوئي فوق البنفسجي والمرئي وأشارت النتائج إلى أن مستويات النترات ( $NO_3$ ) في عينات الرمل تراوحت بين (0.059 – 0.146%). الشكل (9) يوضح تراكيز النترات في العينات المختلفة. ولوحظ الحد الأدنى لمستوى النترات في عينة رمال الشاطئ رقم (S6) بمنطقة سوسة (0.059%)، بينما لوحظ ارتفاع طفيف في مستوى النترات في عينة رمال الصحراء رقم S15 من منطقة طريق جالو - أجدابيا (0.146%).



شكل 9: تركيز النترات في عينات الرمل المختلفة

## الاستنتاجات

اشتملت الدراسة الحالية على مجموعة من التجارب العملية لتقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية وذلك لتقييم أنواع مختلفة من الرمال الطبيعية والتي تم جمعها من عدة مناطق من الشمال والجنوب الشرقي وفيما يلي أبرز ما توصلت إليه هذه الدراسة:

1. أظهرت نتائج التحليل المنخلي للعينات المختلفة ان معظم العينات وقعت في نطاق التدرج الناعم باستثناء العينة التي تم جمعها من المنطقة الواقعة بين جالو والكفرة والعينة التي تم جمعها من المنطقة الواقعة بين أجدابيا وجالو والتي وقعت في نطاق التدرج الناعم للرمال الطبيعية طبقا للمواصفة الليبية.
2. الوزن النوعي لمعظم العينات كان ضمن حدود المواصفة الليبية، مع ملاحظة زيادة الوزن النوعي للعينات الساحلية مقارنة بالعينات الصحراوية، حيث سجلت عينات ساحل الجبل الأخضر قيم وزن نوعي تراوحت من 2.82 الى 2.86.
3. نسب الامتصاص للعينات المختلفة لم تتجاوز الحدود المسموح بها في المواصفة، سجلت العينات الصحراوية نسب امتصاص اعلى من العينات الساحلية.
4. تجاوزت نسبة المواد الناعمة في العينات الصحراوية الحدود المسموح بها طبقا للمواصفات الليبية والتي تنص على ان نسبة المواد الناعمة يجب ان لا تتجاوز 4% للرمال الطبيعية. حيث سجلت العينات الصحراوية نسب مواد ناعمة تراوحت من 4.26 - 7.74%.
5. نسبة الكبريتات في معظم العينات الصحراوية كانت ضمن الحدود المسموح بها للاستخدام في اعمال الخرسانة العادية المسلحة. في حين اقصى قيمة للكبريتات كانت 0.2151% و 0.201% للعينات طريق جالو-أجدابيا وجنزور-طبرق على التوالي.
6. نسبة الكلوريدات لجميع العينات كانت ضمن الحدود المسموح بها في المواصفة الليبية.
7. نوصي بدراسة خصائص الرمال في مناطق غرب والجنوب الغربي لدولة ليبيا لتوفير قاعدة بيانات للبحاث والمهتمين.

## المراجع:

1. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2021.
2. UNEP 2019. Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources. GRID-Geneva, United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland.
3. المركز الوطني للمواصفات والمعايير، "المواصفة القياسية الليبية م ق ل 250 - 2002: طرق اخذ العينات.
4. المركز الوطني للمواصفات والمعايير، "المواصفة القياسية الليبية م ق ل 252 - 2002: الاشكال والنسيج السطحي للحبيبات.
5. British standard: Part 103: Methods for determination of particle size distribution.
6. المركز الوطني للمواصفات والمعايير، "المواصفة القياسية الليبية م ق ل 49 - 2002: ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية.

7. المركز الوطني للمواصفات والمعايير، "المواصفة القياسية الليبية م ق ل 256 - 2000: طريقة تعيين نسبة امتصاص الماء.
8. BS E.N. 1744-1:2009+A1. (2012). Tests for Chemical Properties of Aggregates Chemical Analysis. British Standards Institute, London.
9. Fadiel, A. Estimating of Compressive Strength of Rubberized Concrete Using Destructive and Non-Destructive Test Methods. In Proceedings of the NCBMSE 2022, Tripoli, Libya, 29-30 November 2022. (In Arabic).
10. Blash, A. M., Altomate, A., Alatshan, F., & Al-Sharif, A. A., (1017), Properties of Concrete Produced Using Locally Available Aggregates in Libya, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), ISSN: 2321-9653; IC Value: 45.98; SJ Impact Factor:6.887, Volume 5, September
11. Ann, K. Y., & Song, H. W. (2007). Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete. Corrosion science, 49(11), 4113-4133.
12. Zhao, Y., Hu, X., Shi, C., Zhang, Z., & Zhu, D. (2021). A review on seawater sea-sand concrete: Mixture proportion, hydration, microstructure and properties. Construction and Building Materials, 295, 123602.

## تطوير تقنية البناء لحوائط التربة المدموكة: دراسة حول تربة جامعة طرابلس - ليبيا

أ.د. عائشة عمار المنصوري<sup>1\*</sup>، م. مجدولين عادل المنصوري<sup>2</sup>، م. أحمد بشير محمد<sup>3</sup>، م. أمينة أحمد الخرم<sup>3</sup>، م. إيناس فوزي طابله<sup>3</sup> م. أسماء علي عبد العالي<sup>3</sup>

1، 3 - قسم العمارة والتخطيط العمراني، كلية الهندسة، جامعة طرابلس، ليبيا

2- قسم العمارة والتخطيط والتصميم الداخلي، جامعة بوليتيكنيكو دي ميلانو - إيطاليا

\*1 a.almansuri@uot.edu.ly

## الملخص

يعتبر أسلوب البناء بتقنية التربة المدموكة أسلوب متبع منذ عقود قديمة، وهو أسلوب منتشر في مناطق عدة حول العالم ومن ضمنها بعض المدن الليبية حيث كان يعرف محليا بطريقة (ضرب الباب)، وتعددت المسميات من منطقة لأخرى مثل (صدم الأرض، الطابية)، وحيث أن هذه التقنية تدعم مفاهيم الاستدامة، فقد جذبت لها الكثير من الاهتمام العالمي، حيث يعمل المصممون على اقتراح أساليب جديدة تحيي البناء التقليدي وتضيف إليه ما يحسن من أداءه.

تتضمن الورقة نبذة مختصرة عن العمارة التقليدية، ودراسة أسلوب التربة المدموكة كطريقة بناء تقليدية مع توضيح أهم خصائصها مراحل تنفيذها وكيفية اختيار التربة المناسبة بما يلائم الظروف المحيطة، إضافة إلى كيفية تحسين أدائها باستعمال الإضافات والمثبتات. ومن هذا المنطلق تطرح الورقة البحثية تجربة عملية أجريت على تربة حديقة قسم هندسة العمارة والتخطيط العمراني، في جامعة طرابلس. والتي تضمنت دراسة استخدام المواد المضافة لزيادة متانة الجدار باستعمال بقايا عمليات البناء من مواد ومخلفات كدعم لفكرة الحفاظ على البيئة.

عليه تم اختبار عدد 16 عينة للتحقق من مقاومة الضغط، وتختلف العينات حسب نوع المادة المضافة، حيث استبدلت نسبة من التربة بنسبة 2% من المادة المضافة (الجير، الياجور، الزجاج، الرخام او البلاستيك في صورة مسحوق بودرة، إضافة إلى برادة الحديد)، ويبقى الإسمنت مكون أساسي ضمن كل الخلطات حيث اضيف بنسبة 3% وأخرى 5%، وأشارت نتائج التجارب إلى أن البلاستيك حقق أفضل مقاومة للضغط. وعليه تم اعتماده لبناء نموذج للحائط المدموك في فناء قسم هندسة العمارة بجامعة طرابلس لاختبار متانته بعد فترة من انشائه بالإضافة إلى ملاحظة مدى تقبل المارين به.

الكلمات المفتاحية: التربة المدموكة، العمارة التقليدية، جامعة طرابلس، التربة، مواد البناء

## 1. المقدمة

يزداد الطلب حول الاستدامة العمرانية وعملية التطور والتطوير في عملية البناء ومواد البناء بمختلف أنواعها مع اختلاف الزمن، كما وتتسابق الجهود في العصر الحديث للظفر بأبنية متينة ومستدامة وغير مكلفة، وهو ما يحتاج الاهتمام والأخذ بالاعتبار عند التفكير بعملية البناء، وتجد المواد المحلية حظوتها في هذا المجال خاصة مع ظهور موجة العمارة التقليدية الحديثة ووضوح خصائصها بأعمال روادها حيث تتماشى مع المقومات الأساسية لعملية التطوير وهي البيئة والمجتمع والأفراد.

وفي هذا الصدد يتناول البحث المشكلة التي يعاني منها المجتمع والمدن الليبية من نقص في استغلال الموارد الطبيعية بدلا من الموارد الصناعية الملوثة للبيئة بحجة ان المواد المحلية (التقليدية) ضعيفة التحمل ولا تتناسب مع متطلبات العصر الحديث في ظل التغيرات التي تحدث سواء للمباني أو مواد البناء المستخدمة وكثرة الأشكال المعقدة من الناحية الإنشائية والتصميمية، وليس لها القدرة على التحمل فترات طويلة ولا تتناسب مع متطلبات العصر الحديث، فتفقد المباني الميزة التي حققتها سابقا في المباني للمدن القديمة، إن الحث على استعمال المواد المحلية المطورة بالطرق المناسبة وتحقيق استخدام بيئي سليم ووفرة اقتصادية للمجتمع مع مرور الزمن هو محور ما يتناوله هذا البحث. وفي ذلك السياق، يهدف البحث الي وضع الية تمكن من إعادة تأهيل وتطوير مواد البناء المحلية ( التقليدية) من تقليدية الي تقليدية حديثة، وتخصص الدراسة حول معرفة تأثير استخدام التربة كمادة بناء مع القليل من الإضافات لمواد معادة الاستعمال تقلل التكلفة من الناحية الاقتصادية وتحافظ علي الشكل والبيئة الداخلية والخارجية للمبنى، وإعادة تطويرها بأنماط تتماشى مع العصر الحديث بتقنيات واساليب جديدة تحيي الموروث التقليدي وتواكب الحداثة، بحيث تكون لنا عمارة ( تقليدية حديثة - تحدثنا عن الماضي وتكون بيئة مستدامة في المستقبل) لتحقيق الهدف.

عليه تكمن أهمية البحث في تسليط الضوء على أهمية تطوير مواد البناء لتزخر المدن الليبية من جديد بإرثها المعماري وتوثق الموروث الثقافي والمعماري القديم لمواد البناء (التقليدية) وعملية تطويرها والمحافظة على استمراريتها وطرح الحلول والبدائل العلمية لإعادة إبراز إيجابياتها التي تميزها عن استخدام غيرها من الطرق، ويمكن تطبيقها في حالة دراسية وتجربة عملية تعرض خلالها النتائج لحل المشكلات ووضع الحلول المناسبة لها. حيث يستخدم البحث منهج البحث الوصفي التحليلي التطبيقي بحيث تجرى بعض الاختبارات ويتم ملاحظة النتائج وتسجيل الملاحظات، بالإضافة إلى الاطلاع على الأبحاث السابقة والتجارب المسبقة وجمع المعلومات حول المشاكل والاحتياجات الخاصة لإقامة المشروع في البيئة المحلية الليبية بمدينة طرابلس.

## 2. العمارة التقليدية

إن تعبير التقليدية في العمارة يعني قيام مجموعة من السكان لها ثقافة واحدة على ارض محددة بإنشاء المدن والمباني التي تكون بمثابة إطار لحياتها اليومية، وبهذا تعكس العمارة التقليدية الهوية الثقافية لمجموعة عرقية معينة، بحيث تصبح أداة لتعزيز الروابط بين السكان وموقعهم الجغرافي، وتعزز الشعور بالانتماء إلى المكان الذي يعيشون فيه. إنها العمارة التي تعتمد على الاحتياجات المحلية ومواد البناء التي تعكس التقاليد المحلية وتميل إلى التطور مع مرور الوقت لتعكس السياق البيئي والثقافي والتكنولوجي والتاريخي للموقع الذي تقع فيه، وبالتالي تصبح وسيلة لإعادة تأكيد الهوية. لذلك، تعتبر العمارة التقليدية أداة قوية لتدريس التاريخ الشعبي لأنها تقدم دليلاً على كيفية عيش الناس [1]. وعرفت العمارة التقليدية بأنها أسلوب بناء متواضع خاص بمنطقة وفترة يعتمد على استخدام المواد والمعرفة المحلية في تشييد المباني، وعادةً ما يكون ذلك دون إشراف مهندس معماري محترف ويعتمد على الثقافة والموارد. من كل منطقة [2]. وترتبط العمارة المحلية بشكل كبير بالأرض وبيئتها وذلك من خلال استخدام المواد المحلية المتوفرة؛ التوجيه الجيد للمباني استخدام الأنظمة الطبيعية للتدفئة والتهوية، واستخدام المواد المتينة مما يجعل العديد من المباني التاريخية مباني تليبي العديد من المبادئ المطلوبة للإنشاءات الجديدة ذات تصميم مستدام [3].

أن النماذج التقليدية لديها الكثير لتعليم المهندسين المعماريين كيفية تصميم المباني المناسبة محلياً، ويمكن ان تقدم دروس يسترشد بها في الاعمال المعمارية، بدلا من تقديم مجموعة من الحلول الجاهزة [4]. ويستشهد اوليفر، برأي حسن فتحي الذي يرى إن العمارة

المحلية في العالم العربي والمناطق المجاورة لم تحل المشاكل المناخية فحسب، بل فعلت ذلك بمزيج من الجمال والوظيفة المادية والاجتماعية[5].

## 1.2 عمارة الأرض:

لآلاف السنين، بنى البشر مبانٍ من الأرض (التربة)، وهي مادة عالمية ودائمة الوجود، فقد تم استخدام الأرض كمادة بناء في جميع الثقافات القديمة، وتقنيات بناء الأرض معروفة منذ أكثر من 9000 عام حيث تم اكتشاف منازل من الطوب اللين يعود تاريخها إلى ما بين 6000 إلى 8000 قبل الميلاد في تركستان الروسية [6]. وفي حين أن إرث البناء الترابي يشكل تراثًا غنيًا وواسعًا، تظل الأرض مادة بناء حديثة في كل مكان وشكلًا حيويًا للمأوى. حيث تقدر الأمم المتحدة أن ما يقرب من 24 في المائة من سكان العالم يعيشون في منازل ترابية. في هذا الصدد، ورغم أهميتها وفعاليتها في الحفاظ على الطاقة وكونها معقل للتنوع الثقافي والتكنولوجي في مواجهة بيئة مبنية معولمة، إلا أن هذه العمارة الترابية غالبًا ما يتم التقليل من قيمتها أو يُنظر إليها بشكل خاطئ على أنها دون المستوى.

تعتبر الأرض مصدر لمواد طبيعية صديقة للبيئة وتساهم بشكل فعال في انشاء المباني المستدامة، لاعتمادها على توفر المواد والموارد المحلية، وتدعم الاقتصاد المحلي. وبالتالي يمكن أن يؤدي تعزيز البناء بالأرض إلى توفير مساكن منخفضة التكلفة للفئات ذات الدخل المنخفض والضعيفة اقتصاديًا، وعلى المهنيين مثل المهندسين المعماريين والمهندسين تطوير المواد التي تساهم في الحفاظ على البيئة. وتعزيز العمارة القائمة على الأرض، يمكن خلق بيئة مستدامة في العصر الحديث [7].

## 2.2 حوائط التربة المدموكة (RAMMED EARTH):

الأرض المدموكة هي تقنية بناء بسيطة، ولكنها يمكن أن تنتج بعضًا من أروع المباني الترابية. وقد تم استخدامها في خمس قارات ولا تزال تستخدم في أستراليا والصين وفرنسا وألمانيا والمغرب وأمريكا الجنوبية. وهي تقنية بناء طبيعية تتضمن ضغط خليط رطب من التربة بنسب صحيحة من الطين والرمل والحصى وقد تحتاج أحيانًا إلى مواد مثبتة مثل الجير أو الاسمنت في حال نقص كمية الطين عن الحد المطلوب، ويتم وضع هذا الخليط من التربة في صندوق أو إطار مؤقت لجدار متين ومدعوم جيدًا ثم يتم ضغطه، عادةً إلى حوالي نصف ارتفاع الحائط الأصلي. في حين أن عملية ضغط الجدار تتطلب عمالة كبيرة، عليه، فإن معظم الفنيين اليوم يستخدمون لذلك آلات دك كهربائية [8]. وقد اعتمدت مواد البناء في المباني التقليدية في ليبيا على الموارد الطبيعية الموجودة محليا مثل الحجر الجيري والرمل والحجر والطين واستخدم في الجدران الطوب المجفف بالشمس بسمك يزيد عن 70 سم [1].

### 1.1.2 الخصائص العامة لحوائط الأرض المدموكة:

اهم مميزات هذه الحوائط تتمثل في سهولة توفر مادة البناء الأساسية، وتدعم اهداف الاستدامة لاستخدامها للتربة المحلية كما انها تحقق الشكل التقليدي للبناء [9]. والخواص العامة لهذه الحوائط تتلخص في النقاط التالية [11]:



الشكل (1): شكل الحوائط المدموكة [12]

1. **المظهر:** قد تتخذ هذه الحوائط شكل مستقيم أو مقوس أو دائري أو محفور أو بارز. ويتأثر لونها بنوع التربة والركام المستخدم. وتعطي عملية الدك طبقة تلو الأخرى واستخدام المسحوق الملون على حواف القالب يعطي مظهر التقسيم الطبقي الأفقي للجدار الشكل (1)
2. **قدرة الهيكل** قوية جدًا لتحمل الضغط، ويمكن استخدامه في البناء متعدد الطوابق حيث تصل قوة الانضغاط إلى 1 ميجا باسكال كحد أقصى للأرض غير المستقرة وحوالي 10 ميجا باسكال للأرض المستقرة
3. **الكتلة الحرارية** عالية حيث يمكنها إذا تم استخدامها بشكل صحيح أن تؤخر تدفق الحرارة من 10 - 12 ساعة.
4. **العزل الحراري** يعتمد على سمك الجدار وهو أفضل من جدار الأسمنت غير المعزول. وبالإمكان إضافة العزل إلى الحوائط الترابية المدموكة ولكن كقاعدة عامة، لن يلبي الجدار 300 من متطلبات كود البناء الأسترالي (BCA) لعزل الجدار الخارجي.
5. **مقاومة الحريق** جيدة جدًا. حيث حقق جدار كتلة ترابية بسلك 150 مم معدل مقاومة للحريق يقارب 4 ساعات.
6. **عزل الصوت** ممتازة حيث أنها لا تولد صدى عالي.
7. **المتانة** عالية بشكل عام ولكنها تحتاج إلى الحماية من الأمطار الغزيرة والتعرض للرطوبة على المدى الطويل.
8. **التهوئة** جيدة مع الحرص عند اختيار التشطيبات المقاومة للماء أو المضادة للغبار لتجنب إضافة شمية إلى الأسطح.
9. **التأثيرات البيئية** لهذا النظام منخفضة عند تصنيعية، وقابلية البناء جيدة لتوفر المواد الأساسية للبناء.

### 2.1.2 تقنية البناء الحديث لحوائط الأرض المدموكة:

ليحقق البناء بطريقة الأرض المدموكة أهدافه، يفضل دائماً استخدام التربة المحلية بحيث يتم الحفر بعمق يتجاوز عمق التربة العضوية للوصول إلى الطبقة التحتية التي تتكون من أربعة أنواع رئيسية من الجسيمات. مصنفة حسب الحجم وهي الحصى والرمل والطمي والطين. ويمر بناء الحوائط المدموكة بعدة مراحل تتلخص في التالي [13]:

1. **الاساسات** التي عادة ما تكون شريطية ويعتمد حجم الدعامات على نوع الهيكل المدعوم وقدرة تحمل التربة أسفل الأساس.
2. **قوالب البناء** تستخدم في عملية البناء كدعم مؤقت أثناء دمك التربة.
3. **الفتحات** قد تأخذ الاشكال المقوسة والمسطحة بعرض يصل إلى 1.5 م باستخدام عتبات هيكلية.
4. **التربة** هي المادة الرئيسية لبناء الجدران المدموكة وتعتمد نوعية التربة المناسبة على نسبة الطين والطمي وهي التي تحدد باقي نسب الخليط من الرمل والحصى او المواد المضافة. وأنواع التربة المناسبة للحوائط المدموكة وفق ما ذكر في المعايير الدولية موضحة في الجدول (1):

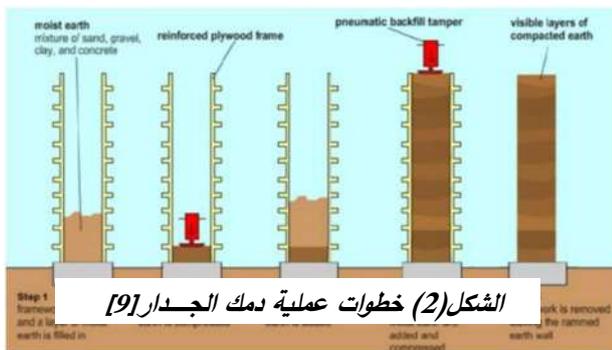
الجدول (1) نسب مكونات التربة المناسبة لتقنية الجدران المدموكة وفق المعايير العالمية [14]

المعايير	طين	الطمي	رمل	الحصى	السليكا	ملاحظات
المعيار الايطالي	(25-20)		(70-30)	-	-	-
المملكة المتحدة واوروبا	-	(30-15)	(70-50)			إضافة الى اختبار حالة تكسير لقضيب بطول 80 - 120 ملم اختبار لفة
ووكر وآخرون	(20-5)	(30-10)	(80-45)		-	مؤشر اللدونة (3-2) - حد السائل اقل 45%،، الانكماش = 0 - محتوى عضوي اقل من 2%
البرتغال	10	-	50	10	20	اسمنت (10-6) - الرطوبة لا تقل عن (2-2.5) %

ويجب اجراء اختبارات للتربة لمعرفة جاهزيتها لذلك متمثلة في: اختبار الرائحة، اختبار السقوط، اختبار اللدونة، اختبار الترسب، اختبار المنخل (الغربلة)، ثم صنع العينة واختبار المقاومة.

5. **عملية الخلط مهمة جدا لضمان تجانس التربة المستخدمة، بحيث يشكل الماء 10% - 12% من الخليط، ويمكن التأكد من جاهزية الخليط بأحدي اختبارات التربة السابقة، ومن المهم ضمان تساوي محتوى الرطوبة داخل خليط التربة.**

6. **عملية الإنتاج والضغط** تتم بعد تجهيز التربة وإزالة الأحجار والمواد العضوية، ثم الغربلة وإضافة المثبتات أو العوازل، ثم



تأتي مرحلة إضافة الماء والخلط. وبعد تجهيز المخلوط يتم تجهيز القالب بحيث يثبت ليأخذ شكل الحائط المراد بنائه حسب التصميم المطلوب، بعد ذلك تبدأ عملية الدمك وتكون بوضع كمية من الخليط في القالب مع الدمك لتكون طبقة سمكها من 8-10 سم تقريبا وتستكمل الطبقات طبقة تلو الأخرى حتى ينتهي الجدار الشكل (2).

7- **التشطيب** يتميز بالمرونة ويعتمد على شكل القالب،

ويُنصح بمسح السطح بإسفنجة مبللة فور تفكيك القوالب. ويمكن تشكيل أسطح الجدران حسب الرغبة وإضافة عناصر الإضاءة وتحديد مسارات إمدادات المياه والكهرباء [13] الشكل (4).



الشكل (4) شكل التشطيبات على حائط التربة المدموكة [11]

## 3.1.2 تحسين الأداء الإنشائي لحوائط التربة المدموكة:

يعتبر الطين الرابط الطبيعي السائد منذ القدم، ويمكن بناء الحوائط بدون أي إضافات، في حالة المعرفة الجيدة بنوعية التربة. ويمكن زيادة متانة الجدران الترابية بإضافة المثبتات، مثل الجير بنسبة من (8-12%) والاسمنت بنسبة من (5-10%)، بالإضافة إلى استعمال قضبان من البلاستيك المقوى بالألياف أو الخيزران أو الاخشاب أو التسليح الغير قابل للصدأ. وينصح بأن تكون زوايا الحوائط مستديرة أو مشطوفة بزواية 45 درجة لأنها معرضة للانهييار. وإذا كانت التربة ذات انكماش طبيعي يفضل استخدام الجير والاسمنت بنسب معينة تعتمد على نسبة الطين والظمي لتحقيق قيمة انكماش مستقر، وهذه النسب تكون كالتالي:

- إذا كانت نسبة الطين للظمي اقل من 20%، يجب استخدام 1% جير إضافة الى نسبة اسمنت تتراوح (4%-5%)
  - إذا كانت نسبة الطين للظمي (21%-35%) فإن الجير يكون (1.5%-2%) اما الاسمنت تكون 5%.
  - إذا كانت اقل من 35% فإن نسبة الجير (2%-3%) اما الاسمنت تكون 5%.
  - في حالة ان نسبة الرمل أكثر من 64% فإن نسبة الجير (2%-2.5%) اما الاسمنت تكون (5%-5.5%).
- اما بالنسبة للرطوبة والمحتوي المائي للتربة فقد اوضح معيار نيوزلندا ان محتوى الرطوبة في الخليط يتراوح من (9.5 - 11%)، والكثافة الجافة 2000 كيلو نيوتن، وان يكون محتوى رطوبة التربة لا يقل عن 3%، والمحتوى المائي يكون 5%. ومن التقنيات البديلة المستعملة لتحسين مقاومة التربة للرطوبة إضافة زيت البارافين أو البترول في ماء الخلط مما يجعل الجدار المدموك مقاوم للماء [13]. الجدول (2) يوضح الخصائص الميكانيكية الجيدة لحوائط التربة المدموكة.

الجدول (2) الخصائص الميكانيكية لحوائط التربة المدموكة [11]

الخواص الميكانيكية	
مقاومة الانضغاط	تتطلب اكواد البناء قوة انضغاطية لا تقل عن 2 ميجا بسكال وتزداد مع ازدياد نسبة الاسمنت.
مقاومة الشد	قوى القص تساوي 7% من مقاومة الضغط.
وحدة المرونة	معدل المرونة للأرض المدموكة في حدود 0.5 كيلو نيوتن.
المتانة	يزيد عمرها عن 100 عام ولا تزال قيد الاستخدام وتعتبر الأمطار من أكثر العوامل الطبيعية تدميراً للمتانة حيث تسبب في تآكل العناصر الترابية.

## 3 الحالة الدراسية: دراسة حول تربة جامعة طرابلس - ليبيا

استخدمت طريقة حوائط التربة المدموكة (حوائط ضرب الباب) في المباني القديمة في ليبيا، وتصل فيها المباني الى 3 أدوار، تعمل هذه الحوائط في المبنى كحوائط حاملة، يختلف سمكها اعتمادا على الارتفاع ونوع المواد المستعملة حيث تستخدم بنسب تتراوح من (50-100 سم)، بالإضافة إلى وجود دعائم خاصة لتساعد في تدعيم الحوائط بين مبنيين مختلفين. واستعمل لإنشاء الحوائط الحاملة الطين المجفف بالشمس أما الطوب المحروق عادة ما يستخدم في الزوايا. وقد تحتوي التربة في أحيان كثيرة إضافة بعض المواد المثبتة مثل الجير بسبب ضعف نسبة الطين [1]. واستعملت مواد البناء المحلية المكونة من:

1. الطوب: ويشمل الطوب الصخري والجيري والرخام والمصنع مثل الباجور.
2. الرمل: ويشمل القزرة البحرية وقزرة الوديان البرية.
3. الجير: ويشمل الجير الحي والجير المطفأ.
4. الشهية: وتؤخذ من رماد الأفران الشعبية (الكوشة).

يهتم هذا البحث باختبار تأثير تحسين خواص الأرض المستخدمة في بناء حائط بطريقة الأرض المدموكة (حائط ضرب الباب) في فناء قسم العمارة بجامعة طرابلس الواقعة ضمن بلدية عين زارة.

## . التطبيق العملي:



شكل (5): موقع المشروع - قسم العمارة

يقوم المشروع على تنفيذ نموذج مطور لحائط التربة المدموكة من خلال إجراء بعض الإضافات لتحسين خواص التربة والوصول لأفضل النتائج. وقد اختير موقع المشروع في أحد أفنية قسم العمارة، بجامعة طرابلس الشكل (5). وتلخصت خطوات العمل في الآتي:

- 1- انتقاء التربة الجيدة الخالية من الشوائب، والموجودة في الموقع.
- 2- إجراء دراسة على عينات من التربة الأصلية كما هي. ودراسة سلوك التربة وفحص مكوناتها وتحديد مدى جودتها لصناعة حائط الدك لضمان جودة المنتج الشكل (6)
- 3- تحسين الخواص بإضافة مواد جديدة وإجراء التجارب عليها: تم اختيار مجموعة من المواد المضافة بخصائص مختلفة وبنسبة ثابتة بالإضافة الى استخدام الاسمنت بنسبتين مختلفتين لاختبار تأثير هذه الإضافات على خواص التربة ومدى تحسن أدائها تحت اختبار الضغط. وتمثلت المواد المضافة في: الحجر الجيري (الكلسي الأبيض المحلي)، مسحوق الزجاج، الجير، رمال البحر، البلاستيك، مسحوق الرخام، الطوب الأحمر (الباجور)، وبودرة الحديد.



الشكل (6): اختبار الترسيب على التربة

وقد مرت هذه العملية بعدة مراحل:

أولاً: خلط التربة (إضافة مواد محسنة للتربة):

- المواد المستخدمة: التراب (من موقع العمل)، الاسمنت (يكون بنسبه لا تتجاوز 3% الى 10%) المواد المضافة السابق ذكرها، مواد ملونه (ألوان صناعية بودرة واللوان طبيعية)، إضافة الى الماء ويكون بنسبة (10% - 15%)
- الأدوات المستعملة: قالب العينة 15× 15× 15 سم، أداة للدمك، كأس لقياس الكميات باللتر، مطرقة لدعم الدمك
- النسب المستخدمة: نسبة المادة المضافة 2%، ولكل مادة مضافه عينه بنسبة اسمنت 3% وأخرى بنسبة اسمنت 5%

### 2.3 خطوات العمل ونتائج العينات:

تمر خطوات العمل بعدة مراحل تتلخص في التالي:

- اختيار مكان المشروع والتربة المستخدمة وغربلتها وتجهيزها،
- استخدام 93% من التربة في حالة وجود ماده مضافة بنسبة 2%، واسمنت 5% للعينة الواحدة، واستخدم 95% من التراب في حالة المادة المضافة بنسبة 2% والاسمنت 3%.
- بعد تجهيز المكونات الجافة وخلطها جيداً يتم إضافة الماء وخلط المزيج حتى الوصول الى الدرجة المطلوبة من الرطوبة (وللتأكد يتم إجراء اختبار السقوط).
- البدء بعملية الدمك بعد وضع جزء من الخليط في قالب العينة ويتم الدمك طبقه تلو الأخرى حتى يمتلأ القالب الشكل (7)، ويتم استخراج العينة من القالب بعد الدمك مباشرةً وتترك حتى تصل زمن الشك المطلوب لأجراء اختبار الضغط عليها (28 يوم).



شكل (7) عملية الدمك

- تجهيز 16 عينه مكعبه الشكل بحجم (15 \* 15 \* 15 سم) 3 منها تحوي نفس المادة المضافة وتختلف في نسبة الاسمنت وباقي العينات تختلف في نوع المادة المضافة ونسبة الاسمنت المضاف، وطبق قانون شدة الانضغاط ( $\sigma = P/A$ ) حيث تمثل قوة الانضغاط، P أقصى حمل مطبق، A مساحة سطح العينة [15] الى المواد المضافة لمقارنة نتائجها للحد المسموح به للضغط من 2-10 نيوتن/مم<sup>2</sup>، والجدول (3) يوضح النسب ونتائج اختبار الضغط.

الجدول 3: أهم النتائج المتحصل عليها بعد إجراء اختبار الضغط

رقم العينة	المادة المضافة بنسبة 2%	نسبة الاسمنت	مقاومة الانضغاط	قانون مقاومة الانضغاط
1	بدون مادة إضافة	5%	0.0	
2	ياجور	3%	0.0	
3		5%	15.90	0.7 نيوتن / مم <sup>2</sup>
4	الزجاج	5%	0.0	
5	الحجر الجيري	5%	13.50	0.6 نيوتن / مم <sup>2</sup>
6	مسحوق الرخام	3%	33.30	1.48 نيوتن / مم <sup>2</sup>
7	بودرة الحديد	5%	61.9	2.75 نيوتن / مم <sup>2</sup>
8	البلاستيك	5%	83.7	3.72 نيوتن / مم <sup>2</sup>
9	الجير	3%	0.0	
10		5%	21.50	0.9 نيوتن / مم <sup>2</sup>
11	رملة البحر	3%	0.0	
12		5%	0.0	
13	السيكا + جير	5%	28.80	1.2 نيوتن / مم <sup>2</sup>

مراقبة جودة الناتج عن الخلطات الجديدة الشكل (8) للتعرف على الحد الأمثل من الخلطات للحصول على أفضل النتائج



الشكل (8): تجميع العينات بعد فترة جفاف لإجراء اختبارات الضغط عليها

- من النتائج السابقة تم التوصل إلى ان (نسب الخلطة في العينة رقم 8) الموضحة بالجدول (3) قد تحصلت على أعلى درجة تحمل بنسبة 83.7، وفق نتائج الاختبار وبذلك تم اعتماد اضافة البلاستيك بنفس النسب للتربة ونسبة 5% اسمنت في بناء الحائط الواقع في قسم العمارة بجامعة طرابلس.
- استخدام الجير الحي كمادة رابطة بين الطبقات في عملية الدمك يسبب عزل بينها ولا يكون الالتصاق بين الطبقات جيد.
- استخدام الألوان الطبيعية في الحوائط له تأثير أفضل حيث ان شدة اللون تزداد مع مرور الوقت مقارنة بالألوان الصناعية.

## 1.2.3 التطبيق العملي لحائط التربة المدموكة

الاعمال التطبيقية لحائط التربة المدموكة المستخدم فيها تربة فناء قسم العمارة بكلية الهندسة الشكل (9) تمثلت في التالي:

- أعمال الحفر الخاصة بقاعدة الحائط. تليها أعمال القاعدة، المتمثلة في فرشاة النظافة بمقاس (60 \* 140 \* 10سم) ثم القاعدة بمقاس (40 \* 120 \* 50 سم) بحيث يراعى فيها ان تبرز القاعدة على سطح الأرض بمقدار 20 سم للحماية من الرطوبة، مع إضافة أسياخ حديدية لدعم القاعدة وربطها بالحائط.
- تجهيز القالب وتنفيذه بأبعاد 40 \* 150 بارترفاع 100 ثم تجهيز التربة وفحصها وغربلتها.
- تجهيز الخليط حسب النسب المقررة في الاختبار للعينة المضاف اليها البلاستيك. ثم الدمك والبناء



الشكل (9): التطبيق العملي لحائط التربة المدموكة

## 4. المناقشة

من خلال التجارب التي أجريت على 13 عينة مختلفة في المواد المضافة بنسبة ثابتة 2% او بتغير نسبة الاسمنت المضاف (3%-5%) وتركت لتجف 28 يوماً، تبين ان مقاومة الضغط لعينة التراب الغير مضاف اليها أي مادة ومضاف اليها الاسمنت بنسبة 5% كانت مقاومتها صفر، ومن خلال مراجعة الدراسات السابقة التي أعطت نتائج مقاومة جيدة تبين انها ترك لتجف 60 يوماً. وهذا مؤشر جيد لعينات الدراسة التي لم تترك لتجف كامل المدة وحقق مقاومة جيدة، بمعنى لو تركت وقت أطول فستحقق مقاومة أكبر. ورغم ذلك وجدت بعض النتائج الجيدة لبعض المواد المضافة مثل البلاستيك وبنسبة (83.7) والتي اعتمدت في تنفيذ الحائط، يليه بوردرة الحديد بنسبة (61.9)، ثم مسحوق الرخام بنسبة (33.30) يليه باقي الإضافات الموضحة في الجدول السابق. هذه النتائج تشير ان التربة مادة جيدة للبناء ويمكن ان تكون بديل جيد للكتل الاسمنتية في حالة الاهتمام بها وتطويرها وانشاء المصانع التي تنتجها بالشكل الذي يمكن استخدامه في مواضع مختلفة. وفيما يخص الحائط الذي تم بناؤه بإضافة البلاستيك بنسبة 2% والاسمنت بنسبة 5%، تم الانتهاء من بناءه في يونيو 2021 وكما هو موضح في الشكل (10) لم توضع له حماية من الأعلى ومن الأسفل لمتابعة صمود الحائط امام التأثيرات الجوية، وفي ابريل 2022 ما يزال الحائط قائم الا انه لوحظ بعض التأثيرات الخارجية نتيجة لغزارة الامطار المباشرة على أسطح الحائط، فتم وضع قطعة رخامية ووضع حماية أرضية للحائط، وفي يناير 2024م لوحظ صمود الحائط مع تآكل في بعض الأجزاء الخارجية نتيجة توجيه مصدر ري الحديقة مباشرة للحائط، بالإضافة الى عدم وجود الصيانة الدورية. وبالتالي هذه النوعية من الحوائط تكون ناجحة جدا كفاصل داخلية وفي المناطق التي تكون فيها الامطار قليلة جدا، وتحتاج الى رعاية وعزل للمياه والرطوبة في المناطق التي تكثر فيها الامطار.



شكل (10): تأثير العوامل الخارجية على متانة الحائط

## 5. الخلاصة والتوصيات

ان طريقة البناء التقليدية لحوائط الأرض المدموكة رغم أنه نظام بناء غير مستخدم بشكل واسع في الوقت الحالي، الا انه أصبح موضع تقدير كبير لمميزاته الكثيرة. ويعتمد مستقبل البناء الترابي على الطريقة التي يتكيف بها مع احتياجات الراحة المطلوبة، ومع معايير وقوانين البناء الجديدة. ومن خلال الدراسة النظرية والعملية لتطوير طريقة بناء الحائط المدموك بفناء قسم العمارة بجامعة طرابلس، تبين إمكانية تطوير هذه الطريقة بما يتناسب مع المتطلبات (المتانة، الشكل، العزل، الراحة... الخ) وذلك بإضافة مواد معادة الاستخدام وملونة للبيئة مثل البلاستيك لتكون مادة تساهم في تقوية الحائط وتقلل من استخدام الاسمنت. وتتلخص مزايا استخدام طريقة الأرض المدموكة في المباني الحديثة في الاتي:

- استخدام الأرض المدموكة كمادة بناء أساسية محلية، تقلل من الاعتماد على الموارد الخارجية.
  - تتميز حوائط الأرض المدموكة بخصائصها العازلة للحرارة والصوت، مما يساهم في تقليل استهلاك الطاقة.
  - يمكن استخدام الأرض المدموكة كعنصر تصميمي لإضفاء لمسة طبيعية وجمالية على المبنى. بحيث يمكن للونها الأرضي ونسيجها الطبيعي تكوين عنصر مميز في المبنى.
  - إعادة استخدام الأرض المدموكة كمادة بناء معاد تدويرها من المواد البنائية السابقة يقلل من كمية النفايات البنائية.
  - تقبل كل المارين بالحائط المدموك موضوع الدراسة وغير من فكرتهم عن هذه النوعية بعد اجراء الإضافات والتأكد من قوة تحملها للضغط بالإضافة الى اعجابهم بالشكل العام للحائط
- من خلال ما سبق استعراضه وللاستفادة من طريقة الأرض المدموكة في المباني الحديثة تم التوصل الى التوصيات التالية:
1. ينبغي دراسة كل مشروع عمراني بشكل فردي لتحديد ما إذا كانت الأرض المدموكة مناسبة وملائمة انشائيا ووظيفيا.
  2. تتطلب الأرض المدموكة مهارات وخبرات معمارية وهندسية متخصصة لضمان تنفيذها بطريقة فعالة وجودة عالية.
  3. التأكيد على تدريس تطوير الطرق التقليدية في البناء بما يتوافق مع متطلبات العصر.

4. اجراء دراسات بإضافة مواد بناء معادة التدوير لتطوير حائط التربة المدموكة لإعطائه مرونة وتنوع في الانشاء.
5. التشجيع على اقامة مصانع للطوب الترابي المدموك المطور .
6. التوعية بأهمية هذه المواد للإنشاءات والبيئة.
7. ادخال هذه الحوائط في أجزاء المبنى للاستفادة من تكوينه الشكلي وقللة تكلفته وتأثيره على البيئة.

## المراجع

1. Almansuri A. Climatic design as a tool to create comfortable, energy-efficient and environmentally wise built environment- (Tripoli-Libya), PhD thesis, University of Salford (U.K) 2010.
2. Thomann L. 2020 What Is Vernacular Architecture? The Spruce Dotdash, Retrieved on 12-5-2022 from: <https://www.thespruce.com/vernacular-architecture-4801653>
3. Park, S., sustainable design and historic preservation. CRM. 1998
4. Hyde, R. Climate responsive design. UK: E and FN Spon. 2000
5. Oliver, P., Dwellings: the vernacular house worldwide. London: phaidon press, China. 2003
6. Minke G., Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhauser – Publishers for Architecture.2006.
7. Priyanka Ar. And Gupta M., Contemporizing Earthen Architecture: A Futuristic and Sustainable Approach. international Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR) 2024.
8. Sumerall A., Build a Cob House, A Step-By-Step Guide, 2013.
9. Jacquin P., Rammed earth, Retrieved on 12-5-2022 from: <https://www.greenspec.co.uk/building-design/rammed-earth/>
10. Craven J., What is Rammed Earth Construction? 2018. Retrieved on 12-5-2022 from <https://www.thoughtco.com/what-is-rammed-earth-construction-177948>
11. Downton P., Rammed earth. 2013 Retrieved on 12-5-2022 from <https://www.yourhome.gov.au/materials/rammed-earth>
12. Beta. The Quell. 2019. Retrieved on 12-5-2022 from. <https://www.beta-architecture.com/the-quell-linda-hutchins/>
13. Gramlich A., A Concise History of The Use of The Rammed Earth Building Technique Including Information on Methods of Preservation, Repair, And Maintenance. Master thesis University of Oregon 2013March

14. Krahn T., Essential RAMMED EARTH CONSTRUCTION, the complete step-by-step guide, new society publishers 2019
15. Taghiloha L., Using rammed earth mixed with recycled aggregate as a construction material. Master thesis. Escola de Camins. 2013

## دراسة مرجعية للخرسانة المعرضة للهجوم الثانوي للكبريتات

نوري محمد الباشا<sup>1\*</sup> سناء سعيد رحومة<sup>2</sup> مروان سالم إشكندالي<sup>3</sup>

1. أ. د. قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، صبراتة، ليبيا

2. م. قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، صبراتة، ليبيا

3. أ. قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، صبراتة، ليبيا

\*للمراسلة nuri.elbasha@sabu.edu.ly

## المخلص

يمكن أن تسبب الكبريتات الموجودة في التربة أو المياه الجوفية أضراراً جسيمة للخرسانة وذلك نتيجة لهجوم الكبريتات، وقد يكون الهجوم فيزيائياً أو كيميائياً أو هجوماً مزدوجاً في الهياكل المدفونة جزئياً. فالخرسانة المعرضة لهجوم الكبريتات الفيزيائي تعاني من تقشر السطح فوق مستوى سطح الأرض وتكون بلورات الملح. أما الخرسانة المعرضة لهجوم الكبريتات الكيميائي فيحدث بها التلف بسبب التفاعلات الكيميائية بين أيونات الكبريتات ومكونات عجينة الاسمنت ونتيجة لتكون الجبس والأترينجيت (Ettringite) يحدث التمدد والتشقق في الهياكل الخرسانية. تهدف هذه الدراسة المرجعية الي تقييم هجوم الكبريتات الفيزيائي والكيميائي من خلال عدد من الابحاث التجريبية والتي تم فيها اختبار الخلطات الخرسانية بالغمر الجزئي والكامل في محاليل للكبريتات وبتراكيز مختلفة ودرجة حرارة ورطوبة نسبية. خلصت الدراسة الي أن هجوم الكبريتات الفيزيائي هو الأكثر ضرراً من هجوم الكبريتات الكيميائي وأن الاستبدال الجزئي للإسمنت بمواد إسمنتية تكميلية (SCMS) مثل الرماد المتطاير وخبث الافران العالي يؤدي الى تقليل التلف الناجم عن هجوم الكبريتات الكيميائية ويرجع ذلك لانخفاض  $C_3A$  واستهلاك هيدروكسيد الكالسيوم (الجبس) في التفاعلات البوزولانية. وهذا يؤكد على اهمية اضافة SCMS التي تؤدي الى مقاومة أفضل لهجوم الكبريتات الكيميائية. ايضا الغمر بالكامل في محلول كبريتات الصوديوم يؤدي الى أعلى خسارة في الكتلة وبالإضافة الى ذلك وجد أن الضرر يحدث أثناء درجات الحرارة المنخفضة والرطوبة النسبية العالية. التحول الدوري لكبريتات الصوديوم يؤدي الى نمو بلورات من محلول كبريتات الصوديوم عالي التشبع ونتيجة لذلك يمكن أن تتولد ضغوط مدمرة في المسام الخرسانية مما يؤدي لتقشر السطح.

الكلمات الدالة: الهجوم الفيزيائي، الهجوم الكيميائي، تبلور الملح، المسام الشعرية، التشقق

## 1- المقدمة

تدهور الصخور والاحجار بسبب الاملاح المتغلغلة داخل المسامات من اهتمامات البحات منذ فترة طويلة ولقد أكتشفت العديد من الدراسات آليات التدهور المرتبطة بها وكيف يمكن التخفيف من حدتها وذلك لأنها تشكل تهديدا كبيرا للآثار التاريخية وحجارة البناء. ومع ذلك تم تجاهل تدهور الخرسانة بسبب تبلور الاملاح أو ما يسمى الهجوم الفيزيائي ويحدث هذا الهجوم عندما تنمو بلورات الملح من محلول مفرط التشبع في مسامه وهنا تكون الخرسانة عرضة للتلف، أما الهجوم الكيميائي عادة ما يؤدي الى التمدد والتشقق بسبب تكون الجبس والأترينجيت. وقد أظهرت الخبرة الميدانية أن التقشر السطحي للخرسانة ناجم عن هجوم الكبريتات الفيزيائي ويقتصر هذا الضرر على الجزء الموجود فوق سطح الارض من الخرسانة. في حين أن الجزء المطمور في التربة الغنية بالكبريتات

معرض مباشرة لهجوم الكبريتات الكيمائي. وتتضمن عملية الضرر في زيادة المسامات الشعرية وتبخر المياه الجوفية المحتوية على الكبريتات فوق مستوى سطح الارض مما يؤدي لنمو البلورات في الخرسانة. وأظهرت العديد من الدراسات أن تعرض الخرسانة للضرر الناتج عن التجوية الملحية الفيزيائية يعتمد على بنية مسامها، فالحجارة التي تحتوي على حجم أكبر من المسام الدقيقة، هي الأكثر عرضة للضرر بسبب التبلور الملحي ويؤدي وجود المسام الدقيقة إلى زيادة المسام الشعرية ومساحة سطح التبخر مما يؤدي إلى زيادة التشبع وبالتالي المزيد من الضرر [1-6].

أغلب الدراسات المرجعية درست تأثير البنية المسامية على تدهور الخرسانة بسبب الهجوم الفيزيائي كما ركزت على العوامل التي تتحكم في بنية مسام الخرسانة بما في ذلك ( نسبة الماء / المادة الرابطة ) وإضافة المعادن البوزولانية و نظام المعالجة ومقاومة الضغط للخرسانة , إن موضوع الهجوم الثنائي للكبريتات على الخرسانة هو أكثر المواضيع إثارة للاهتمام بسبب التعقيدات الكيميائية والفيزيائية اعتمادا على نظام التعرض للكبريتات ويمكن أن تكون حالة التعرض من خلال الغمر الكامل في محلول الكبريتات أو الترطيب و التجفيف الدوري في وسط غني بالكبريتات أو الغمر الجزئي تحت درجة الحرارة الدورية و الرطوبة النسبية.

## 2- الخرسانة المعرضة للهجوم الثنائي للكبريتات

عند غمر العينات في محلول الكبريتات يحدث هجوما مزدوجا للكبريتات مما يؤدي إلى تقشر للجزء العلوي المكشوف بسبب تبلور الأملاح في الشقوق والمسام. أجريت العديد من الدراسات للخرسانة المعرضة للهجوم الثنائي للكبريتات ونستعرضها باختصار في هذا الجزء.

(Skalny et. al., (2002) يتسبب هجوم الكبريتات في تدهور الخرسانة من خلال زعزعة استقرار عجينة الإسمنت، وخلق تأثيرات توسعية للمسام تؤدي إلى التشقق وتشمل هذه المركبات العدوانية كبريتات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم. وقد يكون مصدر الكبريتات نتيجة تعرض الخرسانة لمياه البحر أو مياه الصرف الصحي أو من النفايات السائلة الصناعية أو من مصادر طبيعية مثل تلك الذائبة في المياه الجوفية أو الموجودة في التربة المجاورة للهياكل الخرسانية وكذلك تلوث الغلاف الجوي قد يؤدي إلى زيادة تركيز الكبريتات في التربة والمياه، وتوجد عدة أشكال للتجوية الملحية وتبلور الملح في الشقوق والمسام وتشمل أماكن التجمد والذوبان وأماكن المد والجزر كما في الشكل (1). ينشأ هجوم الكبريتات الكيمائي من تفاعلات كيميائية مختلفة بين أيونات الكبريتات ومنتجات ترطيب الخرسانة والإسمنت مما يؤدي لتغيير المصفوفة الإسمنتية حيث تتفاعل أيونات الكبريتات مع هيدروكسيد الكالسيوم ( الجير ) لتكوين الجبس وعلاوة على ذلك يمكن إنتاج الإترنجيت الثانوي من خلال تفاعل ألومينات الكالسيوم المائية أو أحادي كبريتات أو ألومينات ثلاثي الكالسيوم مع الجبس المتكون أثناء التفاعل الأول وعادة ما يؤدي تكون الجبس و الإترنجيت إلى الزيادة في حجم المواد المتفاعلة بحوالي ( 1.2 - 2.2 ) مرة مما يؤدي للتمدد و بالتالي التشقق. أما في حالة وجود أيونات الكبريتات والكربونات والرطوبة النسبية الوفيرة ودرجة الحرارة المنخفضة يمكن أن يتشكل الثوماسيت (Thaumasite) مما يؤدي لفقدان في مقاومة الضغط والشد للخرسانة [7-13].



الشكل (1): تغلغل بلورات الاملاح داخل المسام والشقوق [8]

(2014) Nehdi et. al. تم في هذه الدراسة دراسة تأثير المضافات المعدنية المختلفة وكذلك W/C وظروف المعالجة المختلفة على أداء الخرسانة المعرضة لهجوم فيزيائي شديد بالكبريتات. تم اختبار ثلاث مجموعات من الخلطات الخرسانية بنسب مختلفة للوزن (0.3، 0.45، 0.6) في كل مجموعة تم استخدام خمسة أنواع من المواد الرابطة: الاسمنت البورتلاندي العادي (OPC) والاسمنت المقاوم للكبريتات (HS) و OPC مع 8% دخان السيليكا و OPC مع 25% من الرماد المتطاير و OPC مع 8% من مينا كولين. تم استخدام أسطوانات قياسية (100×200) ملم لدراسة أداء كل من الخرسانة الغير معالجة والخرسانة المعرضة لهجوم فيزيائي بالكبريتات بالنسبة للخرسانة الغير معالجة تم تعريض مجموعة الأسطوانات من كل خليط للبيئة الكبريتية بعد 24 ساعة من الصب وتمت معالجة العينات من كل خليط خرساني لمدة 28 يوم في غرفة رطوبة نسبية 95% ودرجة حرارة دورية 20 درجة مئوية.

وتم أخذ شظايا من سطح كل الأسطوانات الخرسانية الغير معالجة و المعالجة بعمر 28 يوم ثم غمرها على الفور في مذيب الأيزوبروبانول لإيقاف تفاعلات ترطيب الإسمنت ، ثم تجفيف العينات داخل المجفف حتى يتم الوصول إلى كتلة ثابتة ثم تحديد توزيع حجم المسام لكل عينة باستخدام (قياس المسامية بالزئبق). عند نقل الأسطوانات الخرسانية من كل خليط إلى المعمل بعد قياس كتلتها الأولية باستخدام مقياس ميزان بدقة 0.1 جم وبعد تجفيفها لوحظ خسارة الكتلة وكذلك أدت المعالجة الرطبة للخرسانة إلى تقشر سطحي أقل نسبياً لأن المعالجة تزيد من الحجم الصلب للخرسانة مما يؤدي إلى انخفاض في الحجم الإجمالي للمسام [14].

بعد يومين من التعرض لدرجة حرارة 20 درجة مئوية ورطوبة نسبية 82% ظهر ترسيب الملح (ظاهرة التزهير)، فوق مستوى المحلول على سطح التجفيف للأسطوانات الخرسانية وهي حالة مثالية للميرابيليت (Mirabilite). وعند التعرض لدرجة حرارة تصل الي 40 درجة مئوية ورطوبة نسبية 31 % وهي حالة مواتية لتكوين التينارديت (Thenardite)، وهنا إنخفض حجم الملح المترسب على سطح الخرسانة مؤديا الي انكماش الحجم بنسبة حوالي 314 % أما بعد شهر واحد من التعرض للكبريتات و 4 دورات من الترطيب والتجفيف ظهرت تقشرات على الأسطح الخرسانية فوق مستوى المحلول [15]. ونتيجة للهجوم الفيزيائي للكبريتات على الخرسانة حدثت ظاهرة التزهير كما في الشكل (2).

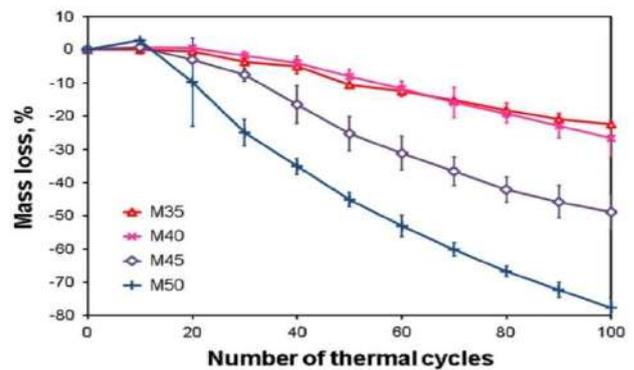
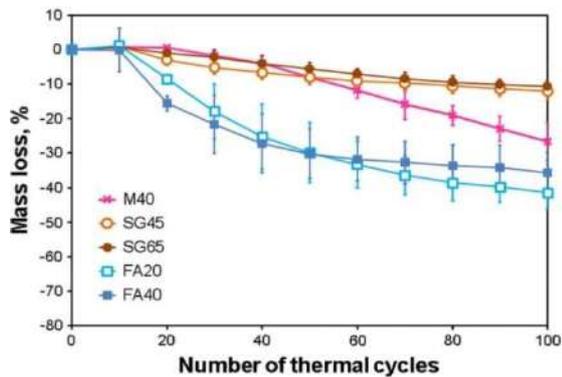
Semion and Douglas (2016) قاموا بتحسين مقاومة الكبريتات بخفض نسبة الماء للإسمنت واستخدام إسمنت بورتلاندي منخفض C3A واستخدام مواد إسمنتية تكميلية (SCMs) مثل الرماد المتطاير وخبث الافران العالي [16-20].



شكل (2): هجوم الكبريتات الفيزيائي على الخرسانة (ظاهرة التزهير) [14]

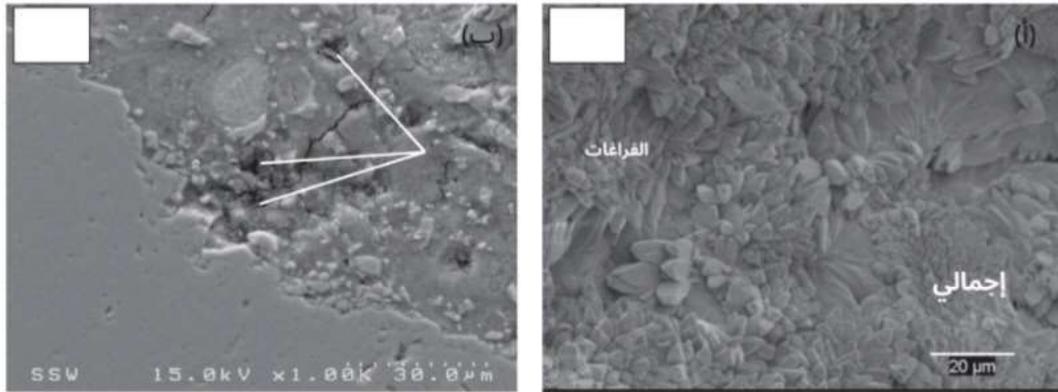
أيضا وجدوا ان تأثير نسبة W/C والمواد التكميلية على فقدان الكتلة تأثيرا بالغا بسبب هجوم الكبريتات الفيزيائية. في البداية زادت كتلة جميع الخلطات بسبب امتصاص الخرسانة لمحلول الكبريتات وترسب الملح في المسام وبعد فترة أولية مكونة من 10 - 20 دورة حرارية بدء تدهور العينات في فقدان الكتلة. والشكل (3) يوضح الفقد في الكتلة للعينات المرجعية وعدد الدورات الحرارية والشكل (4) يوضح الفقد في الكتلة لعينات المواد التكميلية وعدد الدورات الحرارية.

(2017) Najjar et . al. قاموا باستخدام الخرسانة الجاهزة (ذات المرحتين) TSC بحيث يتم إنتاجها من خلال وضع الركام الخشن في قوالب ثم ملء الفراغات بين حبيبات الركام عن طريق حقن خلطات إسمنتية خاصة. TSC أكثر كثافة من الخرسانة العادية مما



الشكل (3): الفقد في الكتلة للعينات المرجعية وعدد الدورات الحرارية [21] الشكل (4) : الفقد في الكتلة لعينات المواد التكميلية و عدد الدورات الحرارية [21]

يؤدى إلى انخفاض حجم العجينة الاسمنتية وتقليل حجم المسامات، ويتم حقن الجبس حول الركام المجزأ مسبقاً، بينما في الخرسانة العادية يتم خلط الركام ميكانيكياً مع المونة الاسمنتية [21\_26]. ولقد وجدوا فراغات داخلية كبيرة نسبياً نتيجة التفاعل الكيميائي كما في الشكل (5).



الشكل (5) : حجم الفراغات الناتجة عن تكون الجبس في التفاعل الكيميائي [26]

أدى الاستبدال الجزئي لـ OPC بواسطة SCMs إلى تقليل التوسع الناجم عن هجوم الكبريتات الكيميائية ويرجع ذلك لانخفاض  $C_3A$  واستهلاك هيدروكسيد الكالسيوم في التفاعلات البوزولانية. وهذا يؤكد أهمية إضافة SCMs للحصول على مقاومة أفضل لهجوم الكبريتات الكيميائية [27-31].

توصل الباحثون إلى عدة استنتاجات ومن أهم ما توصلوا إليه. أن هجوم الكبريتات في الهياكل المدفونة جزئياً وفي عنصر انشائي واحد يكون هجوماً مزدوجاً (كيميائياً وفيزيائياً) وأن استخدام  $W/C$  المنخفضة يؤدي لتقليل الحجم الكلي وبذلك تقليل المسام الشعرية. اتفق [14] و [26] على إن استخدام SCMs تعزز من متانة الخرسانة لهجوم الكبريتات الكيميائية. ولقد اختلفوا على نوع المواد الإسمنتية التكميلية ونسبة استبدالها بالأسمنت البورتلاندي العادي. حيث أكد [26] على أن استخدام الرماد المتطاير وخبث الافران العالية أفضل من دخان السيليكا. أيضاً اتفق [11] و [32] مع [25] على أن الجبس والاترنجيت هما العمليتان الرئيسيتان لهجوم الكبريتات الكيميائية، وأنه يوجد نوعان من الإترنجيت: الأول أو المبكر "EEF" (Early Ettringite Formation) يحدث بعد ساعات قليلة من مزج الماء بالأسمنت ولا يسبب أي ضرر على الهياكل الخرسانية، أما المؤجل "DEF" (Delay Ettringite Formation) يحدث عندما يذوب الإترنجيت الأول وعندما تنخفض درجة حرارة الخرسانة إلى أقل من 70 درجة مئوية فيتشكل الإترنجيت الثانوي مما يتسبب في تمدد الخرسانة المتصلبة وتشققها. أن الضرر الناجم عن الثوماسيت يكون أكثر خطورة من الضرر الذي يسببه الإترنجيت إلا أن تكوين الثوماسيت لا يحدث كثيراً.

أكد [32-39] على أن كبريتات الصوديوم تلعب دوراً مهماً في تكوين المنتجات التوسعية (الجبس والاترنجيت) ويمكن أن يؤدي تكوين الجبس إلى ضغط تبلور لا يزيد عن 3 ميغا باسكال، ويمكن أن يصل أقصى ضغط تمدد

ناتج عن تكوين الإترنجيت 8 ميغا باسكال وهو ما يتجاوز مقاومة الشد لمصفوفة العجينة الإسمنت المتصلبة مما يؤدي إلى تكون الشقوق والتدهور الهيكلي لمصفوفة المادة الرابطة.

أكدوا [45-40] على أن سطح الخرسانة عموماً يشمل مسام كبيرة وشقوق صغيرة توفر مسارات لدخول المواد الضارة إلى الخرسانة مما يؤدي إلى تدهورها. وبالتالي يمكن توفير الحماية للخرسانة باستخدام مواد معالجة لسطح الخرسانة مثل مواد الطلاء والتي تعمل كحاجز لعزل الخرسانة عن البيئة المحيطة بها ومن خلال الدراسات تبين أن هجوم الكبريتات الفيزيائي هو الأكثر ضرراً من هجوم الكبريتات الكيميائي وأن الأضرار الجسيمة اقتصر على الأجزاء العلوية من عينات الخرسانة المظمورة في التربة الغنية بالكبريتات.

### 3- الخاتمة

أن هجوم الكبريتات الكيميائي ينشأ من تفاعلات كيميائية بين أيونات الكبريتات مع هيدروكسيد الكالسيوم الموجود ضمن مكونات الخرسانة وينتج كبريتات الكالسيوم فتتفاعل مع ألومينات الكالسيوم لتشكل ألومينات الكالسيوم المائية وعادة ما يؤدي تكون الجبس والإترنجيت إلى التمدد والتشقق واختلاف نتائج الدراسات على نوع المواد الاسمنتية التكميلية ونسبة استبدالها بالإسمنت البورتلاندي العادي لمقاومة الكبريتات.

يمكن أن تتعرض الخرسانة المغمورة جزئياً في محلول كبريتات الصوديوم لهجوم ثنائي الكبريتات بحيث يتعرض الجزء السفلي المغمور في محلول كبريتات الصوديوم لهجوم كيميائي في حين أن الجزء العلوي المكشوف يكون عرضة لهجوم الكبريتات الفيزيائي. تمر أملاح الكبريتات بدورات التبلور والذوبان أو الترطيب والتجفيف مع تغير درجات الحرارة المحيطة والرطوبة النسبية، تلك الدورات المتكررة من التبلور والترطيب مع التمدد الحجمي تؤدي إلى تدهور الخرسانة. وتعتمد متانة الخرسانة ضد هجوم الكبريتات الفيزيائي على بنية المسام الخرسانية وليس على التركيب الكيميائي.

أخيراً الاستبدال الجزئي للإسمنت البورتلاندي العادي وكذلك استعمال الاسمنت المقاوم للكبريتات واستعمال الاسمنت البوزلاني واستخدام المواد الاسمنتية التكميلية وكذلك نسبة W/C المنخفضة تعمل على تحسين متانة الخرسانة المعرضة لهجوم الكبريتات الفيزيائي بشكل كبير حيث أنها تقلل الحجم الإجمالي للمسام واتصالها مما يؤدي إلى تعزيز مقاومة هجوم الكبريتات.

### 4- قائمة المراجع

1. M.Angeli , D. Benavente , J. Bigas, B Menendez , R Hebert , c . David ,  
Modification of the porous network by salt crystallization in experimentally  
weathered sedimentary stones , M ater . Struct 41 (6) ( 2008 ) 1091 – 1108

2. ASTM C511 , Standard Specification for Mixing Rooms , Moist Cabinets , Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes American Society for Testing and Materials , West Conshohocken, PA , 2009 .
3. Haynes H, O, Neill R, Mehta PK Concrete deterioration from physical attack by salts . Concr Int 18 (1) (1996) 63 – 68.
4. E,F. Irassar , A ,Di Maio ,O .R , Batic ,Sulfate attack on concrete with mineral admixtures Cem. Concr , Res ,26 (1) (1995) 113 – 123.
5. C.R. Navarroa , E. Doehnea , Selt weathering : influence of evaporation rate supersatura- tion , and crystallization pattern , Earth suif. Process Landf , 24 (3) (1999) 191 – 209.
6. R.J. Flatt, M. Steiger, G.W. Scherer, A commented translation of the paper by C W. Correns and W. Steinborn on crystallization pressure , Environ . Geol. 52 (2006) 187, [https://doi . org /10. 1007/s00254 – 006 – 0509 – 5](https://doi.org/10.1007/s00254-006-0509-5).
7. [www. Ozcoast . org. au](http://www.Ozcoast.org.au).
8. [www. nrc . Gov](http://www.nrc.Gov).
9. P.K.Mehta , sulfate attack on concrete separating myths from reality ,Concr . Int. 22 (8) (2000) 57 – 61.
- 10.J. SKalny, J Marchand, I. Odler, Sulfate Attack on concrete, Spon press, NewYork , 2002,p.217.
- 11.RD. Hooton , Influence of silica fume replacement of cement on physical properties and resistance to sulfate attack , freezing and thawing , and alkali silica reactivity , ACI Mater . J.90(2)(1993)143 – 151 .
- 12.A . SKaropoulou , S.Tsivilis , G. Kakali , J.H.Sharp, R,N. Swamy, Thaumaside from of sulphat attack in limeston cement mortars : a study on long term efficiency of mineral admixtures , constr . Build Mater. 23 (6)(2009)2338 – 2345.
- 13.P . Nielsen , S, Nicolai , A . Darimont , X. Kestemont , Influence of cement and aggregate typeon Thaumaside formation in concrete , Cem , Cont .Compos 4 (53) (2014)115 – 126.
- 14.M . L , Nehdi , A.R .Suleiman , A.M.Soliman , Investigation of concrete exposed to dual Sulphate attack , Cem . Conct , Res . 64 (2014) 42 – 53.

15. Tsui , R . J .Flatt , G.W. Scherer , Crystallization damage by sodium sulfate .J.Cult Herit , 4 (2) (2003) 109 – 115 .
16. Concrete Technology and Codes- 31-Sulfate Attack E117 – 1500.
17. Stark D (1989) Durability of concrete in sulfate rich soils . Portland Cement Association , Skokie.
18. Irassar E , Di Maio A, Batic O (1996) Sulfate attack on concrete with Mineral admixtures Cem Concr Res 26 (1) : 113 – 123.
19. Yoshida N, Matsunami Y , Nagayama M, Sakai E (2010) Salt weathering in residential concrete foundations exposed to sulfate – bearing ground . J Adv Concr Technol 8(2) : 121 – 134.
20. Liu Z, Deng D, De Schutter G (2014) Does concrete suffer sulfate salt Weathering. Constr Build Mater 66(15) : 692 – 701
21. Semion Z , R Douglas Hooton , Materials and Structures (2017) 50 :54 DOI 10. 1617/s11527 – 061 – 0936.
22. ACI 304 ,Guide for Measuring Mixing , Transporting ,and placing Concrete, American Concrete Institute. ACI Committee304 , 2005 , p.49.
23. H.S. Abdelgader , M.F.Najjar . Advances in concreting methods , in : International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries , Algeria , 2009, pp. 315 – 324 .
24. A.S , Abdul Awal , Manufacture and properties of pre – packed aggregate concrete (Master thesis ) , University of Melbourne , Australia , 1984, p. 121 . . M Berndt, Long – term durability of preplaced aggregate concrete piles , Conct. Int . 34 (12) (2012) 36 – 42 .
25. ACI 201.2R, Guide to Durable Concrete, American Concrete Institute.ACI Committee 201 . 2R ,2008, P. 41
26. F.M. Najjar , A . M . Soliman , M.L .Nehdi , Critical overview of two stage Concrete properties and applications , Constr . Build Mater . 62 (2014)47 – 58
27. J.Skalny , J . Marchand , I . Odler , Sulfat Attack on Concrete , Spon press, NewYork ,2002 , p .217 .

28. V , Nguyen , N . Leklou , J . Aubert , P. Mounanga , The effect of natural pozzolan on delayed ettringite formation of the heat – cured mortars , Constr . Build . Mater 48(2013) 479 – 484 .
29. T. Ramlochan , P. Zacarias , M. D. A . Thomas, R.D. Hooton , The effect of pozzolans and slag on the expansion of mortars cured at elevated temperature: part I :expansion behavior , Cem. Concr . Res . 33(6)(2003) 807 – 814
30. Z. Liu, D . Deng, G. De Schutter, Z . Yu, Chemical sulfate attack performance of partially exposed cement and cement plus fly ash paste , Constr . Build. Mater. 28 (1) (2012) 230 – 237.
31. M. T. Bassuoni , M.L Nehdi , Durability of self – consolidating concrete to different exposure regimes of sodium Sulphate attack , Mater. Struct. 42(8) 2009
32. S. Diamond, Delayed ettringite formation – processes and problems cement & concrete composites 18(1996) 205 – 215.
33. E. Irassar , Sulfate attack on cementitious materials containing limestone filler – a review , Cement and Concrete Research 39(2009) 241 – 254 , [https://doi.org/ 10.1016/j. cemconres. 2008. 11.007](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.11.007).
34. M. Rahman, M. Bassuoni , Thaumate sulfate attack on concrete : Mechanisms , influential factors and mitigation , Construction and Building Materials 73(2014) 652 – 662 , [https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat. 2014.09.034](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.09.034).
35. Wagner, M.; Decker, M.; Kunther, W.; Machner, A.; Beddoe, R. E.; Heisig A. einz, D. Gypsum formation mechanisms and their contribution to Crystallisation pressure in sulfate resistant hardened cement pastes during early external sulfate attack at low sulfate concentrations Cem . Concr. Res. 2023, 168, 107138.
36. Mullauer , W.; Beddoe , R. E.; Heinz, D. sulfate attack expansion mechanisms . Cem Concr Res 2013 , 52, 208–215.
37. Wang, Q. Study on the characteristics and Time Duration Model of sulfate attack – Induced Expansion of Cement – Treated Subgrade Filler . ph.D Thesis, Beijing Jiaotong. University , Beijing , china, 2022.

38. Ting, M.Z.Y.;Wong , K.S.;Rahman.M.E.;Joo, M.S.Cyclic compressive behavior of limestone and silicom an ganese Slag concrete Subjected to Sulphate attack and wetting – drying action in marine enviro n ment . J.Build Eng. 2021,44,103357.
39. Tang, K;Mao , X-S ;Wu,Q;zhang, J-X;Huang, W.-J.Influence of Temperature and Sodium Sulfate contenton the compaction characteristics of cement – Stabilized Macadam Base Materials . Materials 2020, 13,3610.
40. JB Aguiar, A Camoes, PM Moreira. performance of concrete in aggressive environment. Concrete Structures and Materials (2008):2(1):21 – 5.
41. RN Swamy, AK Suryavanshi, S Tanikawa. protective ability of an acrylic – based surface Coating system against chloride and carbonation penetration into concrete ACI Mater J(1998) : 95(2): 101 – 102 .
42. D Stark. Durability of concrete is sulfate–rich soils. Research and Development Bulletin, Portland Cement Association; 1989. RD097.
43. AL –Amoudi OSB. Attack on plain and blended cement exposed to aggressive sulfate environment Cement Concr Compos 2002; 2 (3): 305 – 16.
44. WG Hime, RA Martinek, LA Backus, SL Marusin, Salt hydration distress. Concr Int 2001; 23(10):43 – 50.
45. Yoshida N., Matsunami Y., Nagayama M., Sakai E. Salt weathering in residential concrete foundation exposed to sulfate – bearing ground. J Adv. Concrete 2010; 8 (2):121 – 34.

## دراسة أنواع الأملاح في تربة الكثبان الرملية بمنطقة الزلاف

أ. نجوى موهوب محمد<sup>1</sup>، أ. د. مسعود فرح أبوكلش<sup>2</sup>

1 محاضر مساعد في قسم الهندسة المدنية

2 أستاذ في الهندسة الجيوتقنية

كلية الهندسة - جامعة وادي الشاطي

## الملخص

تعتبر منطقة الزلاف الواقعة جنوب غرب ليبيا من المناطق التي تغطيها الكثبان الرملية المتعددة بأطوالها وأشكالها وإرتفاعاتها وإمتداداتها ، ويبلغ بعض إرتفاعاتها عدة أمتار ، وتصل بعض إمتداداتها إلى كيلومترات ، وتقع منطقة الزلاف شمال مدينة سبها ، وتحدها شرقا منطقة سمنو وشمالا منطقة وادي الشاطي وغربا رمال أدهان أوباري ، ونظرا لتواجد هذه التربة بكميات كبيرة في الجنوب الليبي عليه فإن هذه الدراسة تختص بدراسة أنواع الأملاح في تربة الكثبان الرملية بمنطقة الزلاف وإمكانية إستخدامها في الأعمال الهندسية ، وتم تقسيم منطقة الدراسة إلى إحدى عشر موقعا ، وتم أخذ حوالي (150) عينة من جانبي الطريق الرابط بين مدينتي سبها وبرك الشاطي ، وقسم أحد الجوانب إلى 6 مواقع بينما قسم الجانب الآخر إلى 5 مواقع وبأعماق (0.00) سم من سطح الأرض الطبيعية، ومن الكثبان بأعماق (0.00 ، 25 ، 50) سم من قمة الكثبان، وذلك لتحديد نسبة الأملاح في التربة ومدى التأثير النوعي والكمي للأملاح في حال إستخدام هذا النوع من التربة في الأعمال والصناعات المختلفة ، وكذلك لتأثير الأملاح على الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة ، وتم في هذه الدراسة إجراء الإختبارات التي تتمثل في ( الرقم الهيدروجيني PH - الموصلية الكهربائية EC - الأملاح الذائبة الكلية TDS - أيون الكلوريد  $Cl^-$  - أيون الكبريتات  $SO_4^-$  - أيون الكربونات  $CO_3^-$  - أيون البيكربونات  $HCO_3^-$  - أيون الصوديوم  $Na^+$  - أيون البوتاسيوم  $K^+$  - أكسيد الماغنسيوم Mg O - أكسيد الكالسيوم CaO - كربونات الكالسيوم  $CaCO_3$  - أكسيد الحديد  $Fe_2O_3$  ) وتم تحليل نتائج الإختبارات المعملية المتحصل عليها ومقارنتها بدراسات سابقة ، وتبين من خلال هذه الدراسة أن أيونات الكلوريدات والأملاح الذائبة الكلية سائدة في أغلب مناطق الدراسة.

الكلمات الدالة: تربة الزلاف، الكثبان الرملية، الجنوب الليبي، أملاح التربة، أيونات الكلوريدات.

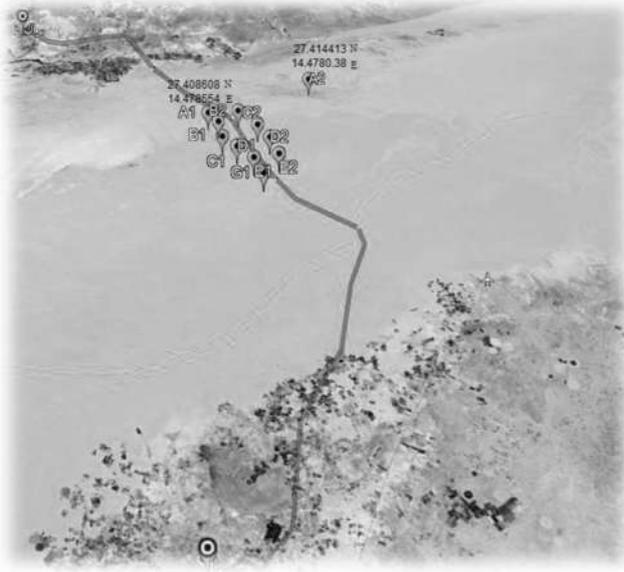
## المقدمة

إن عملية تجمع الأملاح في التربة ظاهرة طبيعية تحدث نتيجة للتجوية الفيزيائية والكيميائية للصخور الملحية ويعتبر تملح الأراضي من أهم مشاكل التربة، ويرجع إرتفاع نسبة الأملاح في التربة إلى إرتفاع مستوى المياه الأرضية وعوامل التبخر والجفاف [3]، وللتلمح تأثير كبير على نفاذية التربة. وتجمع الأملاح في التربة ومن ثم ذوبانها يمكن أن يغير من تركيبها ويؤثر في خواصها [1]. ومن أهم الأملاح في الترب المتأثرة بالملوحة أملاح حامض الهيدروكلوريك مثل كلوريد الكالسيوم وكلوريد الماغنسيوم وكلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم وأملاح حامض الكبريتيك مثل كبريتات الكالسيوم والماغنسيوم وكبريتات الصوديوم والبوتاسيوم [12].

إن توفر بعض الأيونات في المناطق الجافة وشبه الجافة مثل كربونات وبيكربونات الكالسيوم والماغنسيوم والبيوتاسيوم والصوديوم تساعد في زيادة الأملاح عند زيادة التبخر بسبب حالات التبادل الأيوني والإمتزاز وتركيز المواد الكيميائية الذائبة في الماء ومنها كلوريدات وأيونات الصوديوم في الماء والتربة. تساهم المعادن الأولية المكونة للصخور التي أشتقت منها التربة في ملوحة التربة ويرجع ذلك لإحتوائها على نسبة كبيرة من أيونات الصوديوم والكالسيوم والبيوتاسيوم والماغنسيوم والكلوريد والكربونات والبيكربونات والكبريتات وعند تجويتها كيميائياً تتركز الأملاح في التربة، وفي الأقاليم الجافة وشبه الجافة يفوق معدل التبخر معدل التساقط السنوي فتتقي الأملاح في التربة ويزداد تملحها مع الزمن [13]. تتأثر الخرسانة بزيادة الأملاح في التربة لذلك يلزم إستخدام أنواع خاصة من الإسمنت المقاوم للكبريتات، كما تساهم الأكاسيد الحامضية مثل ثاني وثالث أكسيد الكبريت وأول أكسيد الكربون في تآكل الخرسانة وبروز حديد التسليح. ويسبب صدأ حديد التسليح شروخاً على طول السطح وسقوط الغطاء الخرساني من حول الأسياخ ويعتبر وجود كلوريد الكالسيوم في الخرسانة من أهم أسباب الصدأ. إن تفاعل الكبريتات مع ألومينات الإسمنت بوجود الماء ينتج أملاح ذات حجوم أكبر من المواد المحتوية عليها الخرسانة لذلك يحدث تمدد يؤدي إلى تفتت الخرسانة وتشققها [7] [9]. لذلك فمن المهم إجراء دراسات من أجل التعرف على أنواع الأملاح لتربة الكتبان الرملية بمنطقة الزلاف ومعرفة مدى تأثيرها على الخصائص الهندسية للإستفادة منها في الأعمال الهندسية والصناعية المختلفة. فقد تم في هذه الدراسة أخذ عينات تربة مختلفة من منطقة الزلاف وتم إجراء الإختبارات المعملية عليها والحصول على نتائج وتحليلها ومقارنتها بدراسات أخرى.

#### منطقة الدراسة

أجريت هذه الدراسة على منطقة رمال الزلاف شكل (1). والتي تقع على جانبي الطريق الرابط بين مدينتي سبها وبراك الشاطئ وتحدها جنوباً مدينة سبها وشمالاً مدينة براك الشاطئ والتي تقع بين دائرتي  $27^{\circ}04'$  و  $27^{\circ}33'$  شمالاً وبين خطي طول  $14^{\circ}15'$  و  $14^{\circ}30'$  شرقاً. يسود هذه المنطقة مناخ قاري صحراوي مع تذبذب كبير في درجات الحرارة بين الليل والنهار والشتاء والصيف، حيث ترتفع درجة الحرارة في الصيف وتخفض في الشتاء، ويسود المنطقة بشكل عام الرياح الشمالية الشرقية والجنوبية الشرقية تبعاً لفصول السنة وتختلف سرعة الرياح باختلاف أشهر السنة. تم أخذ حوالي (150) عينة من منطقة الدراسة بشكل عشوائي من جانبي الطريق الرابط بين مدينتي سبها وبراك الشاطئ. قسم أحد الجوانب إلى 6 مواقع (A1، B1، C1، D1، E1، G1)، بينما قسم الجانب الآخر إلى 5 مواقع (A2، B2، C2، D2، E2) شكل (2). وبأعماق (0.00) سم من سطح الأرض الطبيعية، ومن الكتبان بأعماق (0.00، 25، 50) سم من القمة.



شكل (2) يبين مواقع أخذ العينات من منطقة الدراسة

شكل (1) يبين منطقة الدراسة

### المواد وطرق العمل

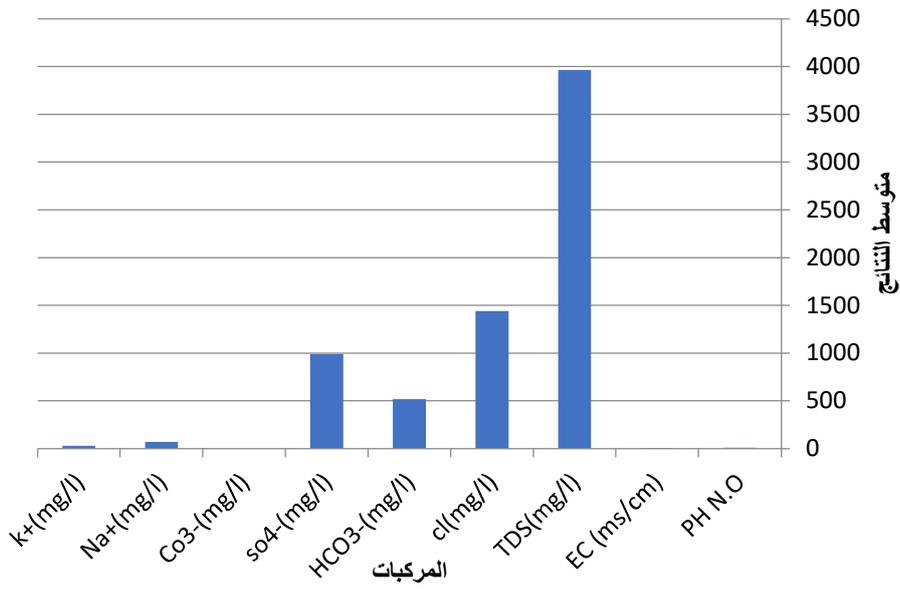
تم قياس PH لمستخلص التربة (1:3) [1] حسب طريقة (Mckague,1978;Mclean 1982) بإستخدام جهاز (JENWAY) (3310) PH meter model. وتم أخذ القراءة مباشرة من الجهاز. وتم قياس الموصلية الكهربائية (Electrical conductivity; EC) لمستخلص التربة (1:3) [1] حسب طريقة (Richards,1954) بإستخدام جهاز (Conductivity meter) موديل (4310) (JENEWAY). وقدر أيون الكلوريد لمستخلص التربة (1:3) [1] حسب طريقة (بشور والصايغ،2007) [1]. أما بالنسبة لأيونات الكربونات والبيكربونات قدرت حسب طريقة (Rechards,1954)، وتم تقدير أيون الصوديوم لمستخلص التربة (1:3) [1] بإستخدام جهاز مطياف اللهب (Flame Photometer 410) حسب طريقة (Franson et al, 1954). وبالنسبة لأيون البوتاسيوم قدر لمستخلص التربة (1:3) [1] بإستخدام جهاز مطياف اللهب (Flame Photometer 410) حسب طريقة (Rechards,1954). تم تقدير أيون الكالسيوم ( $Ca^{++}$ ) لمستخلص التربة (1:3) [1] بإستخدام جهاز الإمتصاص الذري (Atomic Absorption) Spectroscopy قدر أيون الماغنيسيوم ( $Mg^{++}$ ) لمستخلص التربة (1:3) بإستخدام جهاز الإمتصاص الذري (Atomic Absorption Spectroscopy) قدر أيون الحديد ( $Fe^{++}$ ) لمستخلص التربة (1:3) [1] بإستخدام جهاز الإمتصاص الذري (Atomic Absorption Spectroscopy) وقدرت كربونات الكالسيوم في التربة بواسطة حامض الهيدروكلوريك (HCl) المخفف بتركيز (%20).

## النتائج والمناقشة

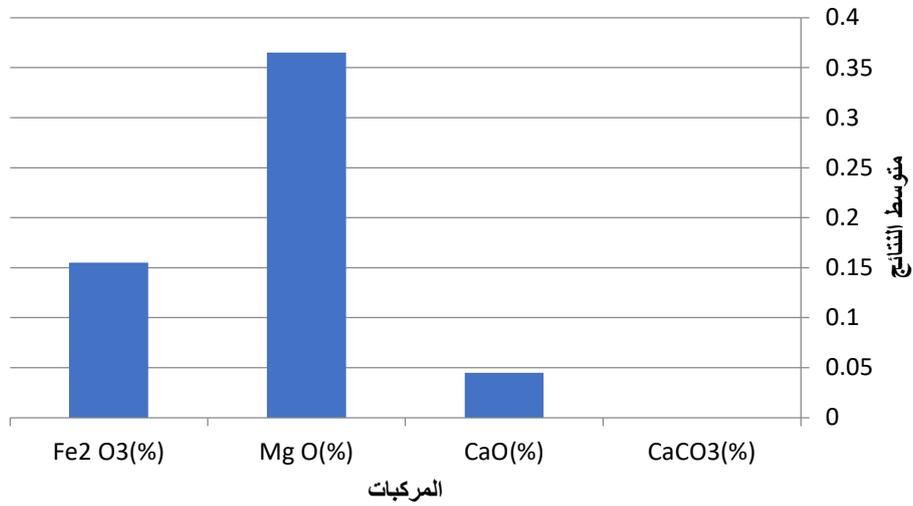
يشير الجدول (1) إلى محتوى التربة من الأيونات مقدرة ب (mg/l) وكذلك الموصلية الكهربائية لمستخلص التربة مقدرة ب (ms/cm) وقيم الأس الهيدروجيني لمستخلص التربة، أظهرت النتائج في الجدول أن قيمة الموصلية الكهربائية لأغلب المناطق عالية تراوحت من 0.711 إلى 11.44 ms/cm وهذا يدل أيضا على أن قيم TDS عالية. وتراوحت قيم TDS للتربة قيد الدراسة من 637 إلى 7296 mg/l [2]، وتراوحت قيم PH للتربة قيد الدراسة من 6.28 إلى 8.4 من قليلة الحموضة إلى قلوية، تتراوح قيم الكلوريدات للتربة قيد الدراسة من 183 إلى 2698 mg/l ومن الملاحظ أن نسبة الكلوريدات للتربة قيد الدراسة عالية تجاوزت القيمة المؤثرة في السلوك الهندسي للتربة وهي 0.1%، تراوحت قيم الكبريتات للتربة قيد الدراسة من 494 إلى 1480 mg/l و يتناقص تركيز الكبريتات في التربة بزيادة تركيز الكلوريدات في التربة ومن الملاحظ أن نسبة الكبريتات في معظم عينات التربة قيد الدراسة تجاوزت القيمة المؤثرة في السلوك الهندسي للتربة وهي 5% [3]، وقيم الصوديوم من 44 إلى 96 mg/l أي أن قيم الصوديوم منخفضة و ليس لها تأثير على ملوحة التربة قيد الدراسة، وقيم البوتاسيوم من 15.52 إلى 41.38 mg/l، كما إتضح من هذه الدراسة أن التربة خالية من الكربونات، وقيم البيكربونات تراوحت من 122 إلى 915 mg/l، أكسيد الكالسيوم من 1.61 إلى 7.08 mg/l، أكسيد الماغنسيوم من 6.95 إلى 62.50 mg/l، أكسيد الحديد من 5.72 إلى 24.48 mg/l، وكانت نسبة كربونات الكالسيوم للتربة قيد الدراسة  $CaCO_3 < 1\%$ . أي أنها نسبة قليلة وليس لها تأثير على التربة. إن تجمع الأملاح في التربة ومن ثم ذوبانها يمكن أن يغير من تركيبها ويؤثر في خواصها [1] وتم تمثيل النتائج المتحصل عليها بأعمدة بيانية كما مبين في الشكلين (3)(4). كما تم مقارنة النتائج المتحصل عليها بدراسات أخرى ولوحظ أن أغلب النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة متقاربة ما عدا نسبة كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ ) للدراسة الحالية تكاد تكون معدومة مقارنة بنتائج بعض الدراسات السابقة كما هو مبين في الجدول (2).

جدول (1): يبين حدود بعض المواصفات الكيميائية والمحتوى الأيوني لعينات التربة المختبرة

المركبات	PH (NO)	EC (ms/s)	TDS (mg/l)	$Cl^-$ (mg/l)	$SO_4^-$ (mg/l)	$Na^+$ (mg/l)	$K^+$ (mg/l)
الزلافة	الأس الهيدروجيني	الموصلية الكهربائية	الأملاح الذائبة الكلية	أيون الكلوريد	أيون الكبريتات	أيون الصوديوم	أيون البوتاسيوم
الزلافة	8.4-6.3	11.4-0.7	7293-636	2698-183	1480-494	96-44	41.4-15.5
المركبات	$CaCO_3$ (%)	$CO_3^-$ (mg/l)	$HCO_3^-$ (mg/l)	CaO (%)	MgO (%)	$Fe_2O_3$ (%)	
الزلافة	كربونات الكالسيوم	أيون الكربونات	أيون البيكربونات	أكسيد الكالسيوم	أكسيد الماغنسيوم	أكسيد الحديد	
الزلافة	<1	0.00	915-122	0.07-0.02	0.63-0.1	0.25-0.06	



شكل (3) يبين مخطط بياني لمتوسط نتائج المركبات الكيميائية لمنطقة الدراسة



شكل (4) يبين المخطط البياني لمتوسط نتائج نسب المركبات الكيميائية لمنطقة الدراسة

جدول (2) مقارنة نتائج التحليل الكيميائي لعينات تربة الزلاف المختبرة بدراسات سابقة:

صحراء الهند southern coast of odisha	صحراء الهند Tamiladu Coast	صحراء كندا	صحراء الهند	صحراء السعودية	صحراء العراق	صحراء تركيا	صحراء الجزائر	الدراسة الحالية	المركبات
7.02-8.5	6.6-8.8	-	8.9-8.2	-	-	8.5-7.5	6.7-6.9	8.4-6.3	PH (N.O)
0.39-1.31	0.06-2.4	-	0.07-0.12	-	-	0.80-0.20	0.01- 0.02	11.4-0.7	EC(ms/s)
-	-	-	-	-	-	512-128	-	7293- 636	TDS (mg/l)
36-355	-	-	-	-	0.026	-	-	2698- 183	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
6-7	-	-	-	-	0.27	-	-	1480- 494	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
51-164	-	-	-	-	-	-	-	96-44	Na <sup>+</sup> (mg/l)
1.9-10	-	-	-	-	-	-	-	41.4- 15.5	K <sup>+</sup> (mg/l)
-	-	-	-	-	-	24.6-14.1	-	<1	CaCO <sub>3</sub> (%)
-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
31-397	-	-	-	-	-	-	-	915-122	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
-	-	-0.30 7.31	-	0.07-4.6	11.06	-	0.8-1.2	0.07- 0.02	CaO (%)
-	-	0.16- 1.89	-	0.03-2.0	3.49	-	0.01- 0.02	0.63-0.1	MgO(%)
-	-	0.26- 1.74	-	0.07-5.4	-	-	0.1-0.2	0.25- 0.06	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)

تابع جدول (2) مقارنة نتائج التحليل الكيميائي لعينات تربة الزلافة المختبرة بدراسات سابقة:

المركبات	الدراسة الحالية	صحراء أمريكا الشمالية	صحراء ناميبيا	صحراء تركيا	صحراء إيران	صحراء فلسطين	صحراء شمال شرق مصر	صحراء العراق
PH (N.O)	8.4-6.3	5.7-11.5	-	7.07-7.84	7.9-8.2	8.5-6.5	-	8.3-7.6
EC (ms/s)	11.44-0.71	-	-	0.1-15.8	1.7-1.9	4.4-0.69	-	-
TDS (mg/l)	7293-636.8	-	-	-	-1101 1203.2	2842- 446.7	-	-
(mg/l)Cl <sup>-</sup>	2698-183	-	-	-	-	1000-100	-	88-73
(mg/l)SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1480-494	-	-	-	19.2-48.0	-	-	-
(mg/l)Na <sup>+</sup>	96-44	-	-	-	120.7- 137.4	-	-	-
(mg/l)K <sup>+</sup>	41.4-15.5	0.1-4.0	-	-	-	-	-	-
(%)CaCO <sub>3</sub>	<1	-	-	1.69-7.9	15.6-16.6	4.9-1.3	-	2.5-1.0
(mg/l)CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.00	-	-	-	-	-	-	-
(mg/l)HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	915-122	-	-	-	-	200	-	-
CaO (%)	0.07-0.02	-	0.01-1.51	0.96-5.04	-	-	10.2-0.18	-
MgO (%)	0.63-0.1	-	0.01-0.9	0.60-2.14	-	-	5.15-0.04	-
(%)Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.25-0.06	-	0.01-2.9	1.14-3.79	-	-	14.4-1.75	-

## التوصيات

1. من خلال هذه الدراسة نلاحظ أن التربة المدروسة متأثرة بالملوحة لذا نوصي بإجراء دراسات تخصصية في المجالات التي تؤثر بها ملوحة التربة خاصة في مجال أعمال البناء والإنشاءات وفي الأعمال الصناعية المختلفة لأخذ الإحتياجات اللازمة عند إستخدام هذا النوع من التربة.
2. يمكن الإستفادة من نتائج هذه الدراسة لمن يرغب في إستخدام هذا النوع من التربة وهي تربة ضعيفة لكنها تستخدم في بعض الأعمال كما يمكن معالجتها بطرق مختلفة.

## المراجع

1. بشور، عصام أنطوان، الصائغ، " طرق تحليل ترب المناطق الجافة وشبه الجافة "، منظمة الفاو الزراعية (FAO)، الجامعة الأمريكية، بيروت، لبنان (2007).
2. خالد رمضان، عدنان رشيد الجنديل، " دراسة التربة في الحقل "، جامعة الفاتح (1984).
3. رائد عزيز، إيمان جعفر، " دراسة نسب الكبريتات والكلوريدات والكربونات وتأثيرها في السلوك الهندسي لطبقات التحميل الضحلة في مناطق مختارة من مدينة البصرة / جنوبي العراق، مجلة جامعة بابل، العدد (1) / المجلد (25): 2017.
4. راين، أسطفان، عبد الرشيد، " تحليل التربة والنبات " دليل مختبري، المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (ICARDA) حلب، سوريا.

5. الزبيدي، "ملوحة التربة"، دار الوطنية للنشر، بغداد العراق (1982).
6. أحمد علي، عبد الكريم محمد "تكنولوجيا الخرسانة مواد الخرسانة المسلحة وصناعتها" الجزء الأول، القاهرة (1974).
7. خليل إبراهيم، "أسباب إنهار المباني"، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع مصر (1996).
8. عبد العال، الراوي، "إستصلاح وتحسين التربة" مطبوعات جامعة بغداد، العراق (1981).
9. أحمد عبد المنعم، "تصدع وإنهار المباني" المجمع المصري للثقافة العلمية - الدورة الثانية والخمسون (1982).
10. Richards, L.A, " Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils" United States Salinity Laboratory Staff, Agriculture Handbook No, 60m (1969), pp 83,136.
11. Tsuorikov A. T, " Soil Combined", Moscow Agroprome, (1986), Chap 3, pp113.
12. Gugcharan Singh "Irrigation Engineering ", Standard Book House, Delhi-6, (1980), pp25.
13. Tanji, K. K." Salinity in the Soil Environment. Chapter 2 in Salinity Environment"- Plants Molecules, A. Lauchli and L. Lutteg (eds.), Kluwer academic publishers, Dordrecht (2004).

## أستخدام تكنولوجيا خلطات الأسفلت الدافئ وتقنياتها في أعمال تنفيذ الطرق الأسفلتية وصيانتها

د. بشير معمر أبوروي

أستاذ مساعد، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة الخمس، جامعة المرقب، ليبيا

Aburawi2018@gmail.com

### الملخص

تكنولوجيا الأسفلت الدافئ (Warm Mix Asphalt) هي تقنية تستخدم في أعمال تنفيذ الطرق الأسفلتية وتهدف إلى خفض درجة حرارة الإنتاج وهي درجة حرارة الخلط والدمك للأسفلت أثناء عملية الرصف. وتعتمد هذه التقنية على استخدام إضافات خاصة أو تعديل في تركيبة الأسفلت لتقليل درجة حرارته. وتوفر تكنولوجيا الأسفلت الدافئ عدة فوائد منها تقليل استهلاك الوقود حيث يتطلب تسخين الأسفلت العادي درجات حرارة عالية مما يتطلب كميات كبيرة من الطاقة والوقود. وباستخدام الأسفلت الدافئ يتم تقليل درجة حرارة الأسفلت المطلوبة مما يؤدي إلى تقليل استهلاك الوقود والتكاليف. ويسمح استخدام خلطات الأسفلت الدافئ بتقليل انبعاثات الغازات الضارة وذلك بفضل خفض درجة حرارة الأسفلت ويتم تقليل انبعاثات الغازات الضارة للبيئة والتلوث الجوي المرتبط بعمليات الرصف. وتساهم تقنية الأسفلت الدافئ في تحسين خواص الأسفلت مما يؤدي إلى زيادة مقاومته للتشقق والتآكل وتحسين أدائه العام. ويتطلب استخدام تكنولوجيا الأسفلت الدافئ تجهيزات ومعدات معينة للتحكم في درجات الحرارة وضبط عملية الرصف. تستعرض هذه الورقة الجوانب الرئيسية لتكنولوجيا خلطات الأسفلت الدافئ بما فيها المواد التأسيسية والخلطات التصميمية ومشاكل الأداء الميكانيكي وكذلك الخصائص التكنولوجية. ويمكن القول أن الأسفلت الدافئ هو تكنولوجيا مثيرة للاهتمام وقادرة على المساهمة في تحقيق أداء مقبول للرصف. وقد تم استخدامها على نطاق واسع وقد تحقق ذلك مع الإضافات العضوية والإضافات الكيميائية واستخدام تقنيات الأسفلت الرغوي.

الكلمات المفتاحية: تكنولوجيا الأسفلت الدافئ، الإضافات، درجات حرارة الإنتاج، التشققات، التخد.

### 1. المقدمة

مع التطور العلمي ينبغي تطور إنتاج الخلطات الأسفلتية وقد تم تحسينها لتحقيق الأهداف الاقتصادية والبيئية. وفي الآونة الأخيرة زاد الاهتمام إلى الحد من استهلاك الطاقة خلال عمليات إنتاج الخلطات الأسفلتية دون تغيير في خدمة الأداء الميكانيكي للخلطات الأسفلتية. ونتيجة لتزايد الضغوط الدولية للحد من انبعاثات الغازات الدفيئة مثل غاز ثاني أكسيد الكربون. وكما هو معروف أن إنتاج الخلطات الأسفلتية الساخنة ينتج عنه استهلاك نسبة كبيرة من الطاقة وانبعاث للغازات [1-3]. وهذا نتيجة تسخين الركام لتجفيفه ونتيجة لتسخين الأسفلت لدرجات حرارة عالية تتجاوز 160 درجة مئوية. ولذلك فإن الأوساط العلمية والتقنية قد وضعت عدداً من التكنولوجيات الجديدة للأسفلت و يشار إليها عموماً بتقنيات خلطات الأسفلت الدافئ (Warm Mix Asphalt).

ونتيجة لذلك فإن هذه التكنولوجيات تستهلك طاقة أقل من تلك الطاقة المستخدمة في الطريقة التقليدية. حيث أدى ارتفاع اسعار الطاقة والاحتباس الحراري والانظمة البيئية الصارمة الي الاهتمام بتكنولوجيا الخلطات الأسفلتية الدافئة كوسيلة لتقليل استهلاك الطاقة والانبعثات المرتبطة بإنتاج الخلطات الأسفلتية التقليدية. حيث يمكن إنتاج خلطات الأسفلت الدافئ في درجات حرارة تتراوح من 100 إلى 140 درجة مئوية وبالتالي التخفيض سيكون حوالي 30 درجة مئوية [4]. وتسمى عمليات صناعة الخلطة الأسفلتية وبشكل مستمر لتخفيف درجات الحرارة ودمك الخلطة الأسفلتية من أجل تخفيض الانبعثات الناتجة من صناعة وإنتاج الخلطات الأسفلتية ودون التأثير بشكل كبير على خصائص هذه الخلطات الإسفلتية. وفي الوقت الحاضر هناك عدد من التكنولوجيات المتاحة لإنتاج خلطات الأسفلت الدافئ. وبالإضافة إلى ذلك واستنادا إلى الخلفيات التاريخية هناك عدة فوائد لتقنيات إنتاج خلطات الأسفلت الدافئ بالمقارنة مع التقنيات المستخدمة في إنتاج الخلطات الساخنة والتي يمكن تلخيصها في ثلاث فئات البيئة والإنتاج لخلطات الأسفلتية والجوى الاقتصادية.

## 2. مزايا وعيوب خلطات الأسفلت الدافئ

مع الأخذ في الاعتبار تخفيض درجات الحرارة في تطبيق تكنولوجيا الأسفلت الدافئ هناك العديد من المنافع البيئية. فقد لوحظ بشكل مباشر في عدد من الدول التي تنتج خلطات الأسفلت الدافئ أن هناك انخفاض كبير في انبعثات الغازات الدفينة الملوثة. ولأن درجة حرارة الإنتاج والانبعثات أقل أصبح من السهل على النباتات المزروعة في المناطق الحضرية النمو في اجواء نقيه وبالإضافة إلى ذلك عند تطبيق تقنيات الأسفلت الدافئ أصبح من الجيد ارتفاع معدلات إعادة تدوير الأسفلت والحصول على لزوجة للأسفلت اقل مع انخفاض درجة حرارة الإنتاج [5].

إن خفض درجات حرارة الإنتاج يسمح بتخفيض استهلاك الطاقة بنسبة تصل إلى 35% أو أكثر اعتمادا على نوع التكنولوجيا المستخدمة و على مقدار التخفيض في درجة الحرارة وبالتالي سوف ينعكس هذا التخفيض في استهلاك الطاقة على التكلفة المرتبطة بالإنتاج وفي ظل ارتفاع أسعار الطاقة فإن التكاليف يمكن أن تكون مثيرة للاهتمام أكثر بكثير. مع ذلك هناك عدد من تقنيات الأسفلت الدافئ تتطلب عمليات تعديلات خاصة بالمصانع بينما بعض منها يتطلب شراء مواد مضافة [6]. ولذلك يجب دراسة هذا العامل عند دراسة التكاليف. وتمتاز الخلطات الأسفلتية بمزايا عديدة أخرى منها تحسين ظروف العمل مما ينعكس بفوائد ايجابية على العمال والبيئة المحيطة وعمر أطول للرصيف نتيجة لتخفيض درجة حرارة الإنتاج وبالتالي انخفاض تطاير المركبات المتطايرة الموجود بالأسفلت. كما تتضمن المزايا نقل الخلطات الأسفلتية الدافئة لمسافات أطول مع المحافظة على قابلية التشغيل والدمك بدرجات حرارة منخفضة وتحسين طاقة الدمك بالموقع وامكانية فتح حركة المرور في مرحلة مبكرة من انتهاء التنفيذ.

وبالرغم من التوسع في استخدام تقنيات الأسفلت الدافئ في عدد المشاريع إلا انه ما زال هناك عدد من المشاكل والتحديات للتغلب عليها للتغلب. هناك بعض المشاكل المتعلقة بالرصيف الدافئ منها زيادة تكلفة الإنتاج الأولي بسبب تركيب المعدات الإضافية الخاصة بالأسفلت الدافئ بالمصانع التي سوف تزيد من تكاليف الإنتاج. ومن ناحية أخرى إن استخدام المواد المضافة سوف يزيد من التكاليف الإضافية لإنتاج الأسفلت الدافئ [7]. وعلاوة على ذلك هناك الخطر بالنسبة للبيئة من انبعثات الكربون المتصلة بإنتاج المواد المضافة وأيضا هناك بعض

الإشارات لبعض المشاكل المصاحبة لاستخدام الأسفلت الدافئ لها علاقة بالخدمة ومشاكل الرطوبة حيث انه عند استخدام الأسفلت الدافئ يتم تخفيض نسبة محتوى الأسفلت الأمثل على سبيل المثال [8]. وعلى الرغم من العدد الكبير من تكنولوجيات الرصف الدافئ إلا انه يمكن تصنيف هذه التقنيات في ثلاث مجموعات رئيسية وهي تقنيات الأسفلت الرغوي والإضافات العضوية والإضافات الكيميائية [9].

### 3. تقنيات خلطات الأسفلت الدافئ

#### 1.3 الأسفلت المنفوخ الرغوي

يتم الحصول على رغوة بإضافة كمية صغيرة من المياه للأسفلت الساخن فتعمل على توسيع حجم الأسفلت مع تخفيض درجة لزوجته وهذا التوسيع في حجم يفقد تدريجياً مع الوقت ليعود للأسفلت إلى خصائصه الأصلية. ويمكن الحصول على الأسفلت الرغوي عن طريق ادخال كمية صغيرة من الماء البارد (1-4%) من وزن الأسفلت الي الأسفلت الساخن جدا (170-190) درجة مئوية بضغط معين حيث يتمدد الأسفلت الساخن بالاتصال المباشر مع الماء بنسبة (20) مرة من حجمه الاول. تتكون هذه الرغوة بفضل التفاعل الكيميائي بين الأسفلت والمادة المضافة والهواء. إنها تقنية مبتكرة تستخدم رغوة الأسفلت لإنتاج طبقة طرقية عالية الجودة وذات أداء متفوق. يعتبر الأسفلت الرغوي بديلاً مستداماً وفعالاً للأسفلت التقليدي المستخدم في الطبقات العلوية للطرق [10, 11]. ويوضح الشكل 1 تقنيات الأسفلت الرغوي.

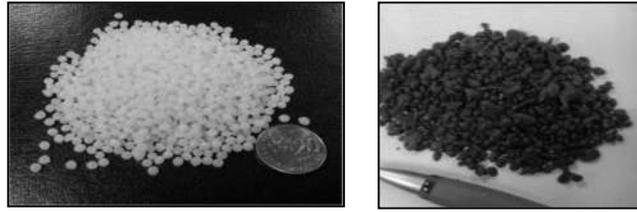


شكل 1 تقنيات الاسفلت الرغوي

توفر تقنية الأسفلت الرغوي العديد من المزايا المهمة. أحد هذه المزايا هو الاستدامة البيئية حيث يتم تقليل استهلاك الأسفلت بنسبة تتراوح بين 10-30% مقارنةً بالأسفلت التقليدي. يعني ذلك أنه يتم توفير كميات أقل من الموارد الطبيعية والطاقة المستهلكة في عملية الإنتاج. يتميز الرصف المنفذ من الأسفلت الرغوي أيضاً بأداء فني متفوق. فهو يوفر مقاومة جيدة للتشققات والتآكل وتحسن في مقاومة الانزلاق مما يساهم في تحسين سلامة السائقين حيث تعمل الرغوة على تحسين استقرار الأسفلت وتقليل وزن طبقات الرصف وزيادة قدرتها على تحمل حركة المرور الثقيلة. على الرغم من المزايا الواضحة لتقنية الأسفلت الرغوي فإنها تواجه أيضاً بعض التحديات. قد يتطلب استخدام الرغوة الأسفلتية تعديلات في معدات البناء وعمليات الإنشاء الحالية. على الرغم من أن التقنية ما زالت نسبياً جديدة إلا أنها تحمل وعوداً كبيرة لتحسين جودة الطرق. من المتوقع أن تلعب تقنية الأسفلت الرغوي دوراً مهماً في بناء مستقبل أكثر استدامة وأمنة.

## 2.3 الإضافات العضوية

يتم إضافتها الي الأسفلت لخفض لزوجته. هذا النوع من المواد المضافة بصفة عامة تتكون من سلسلة طويلة من ذرات المواد الهيدروكربونية والتي تكون صلبة في درجة حرارة الغرفة وتتصهر بصفة عامة عند درجة حرارة حوالي 100 درجة مئوية. ومن أكثر المنتجات التجارية التي تستخدم مادة Sasobit التي تنتج من الغاز الطبيعي [12], [13]. ويمكن القول أن استخدام الإضافات العضوية يمكن أن يخفض من درجة حرارة الخلط من 20 - 30 درجة مئوية عن درجة حرارة الخلط للخلطات الساخنة [14]. ويوضح الشكل 2 بعض الأنواع من الاضافات العضوية.



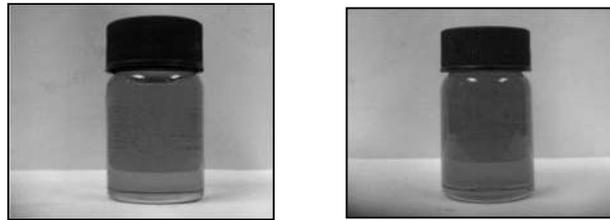
Sasobit®

Rediset

شكل 2 الإضافات العضوية

## 3.3 المضافات الكيميائية

تستخدم مواد كيميائية مثل البوليمرات المنشط لتعديل خصائص الأسفلت مما يجعله أكثر مرونة وقابلية للخلط عند درجات حرارة منخفضة هناك أنواع مختلفة من المضافات الكيميائية وتكون مدعمة لتقاوم التجريد الذي يمكن أن يحدث بفعل الرطوبة وتضاف المضافات الكيميائية عادة إلى الأسفلت خلال عملية الإنتاج [15, 16]. من هذه الإضافات يوجد النوع Rediset™ والنوع Cecabase. والشكل رقم 3 يوضح عدد من أنواع الاضافات الكيميائية التي تستخدم لإنتاج خلطات الإسفلت الدافئة بشكل واسع. ويمكن ان تخفض الاضافات الكيميائية درجات حرارة الخلط والدمك حوالي 30 درجة مئوية.



Cecabase RT

Evotherm®

شكل 3 الإضافات الكيميائية

تتعدد تقنيات الأسفلت الدافئ وتختلف في آليات عملها لكنها تتفق جميعًا على هدف خفض درجة حرارة الإنتاج مقارنةً بالأسفلت التقليدي. ويعتمد اختيار تقنية الأسفلت الدافئ المناسبة على عدة عوامل منها مواصفات المشروع ونوع الطريق وحركة المرور المتوقعة والظروف المناخية. ويعتمد أيضًا على الميزانية المتاحة من تكلفة المواد الإضافية والمعدات.

تقدم تقنيات الأسفلت الدافئ العديد من المزايا البيئية والاقتصادية مما يجعلها خيارًا جذابًا لمشاريع الطرق الحديثة.

#### 4. استخدام تقنيات الأسفلت الدافئ في أعمال تنفيذ الطرق

يتم استخدام تقنيات الأسفلت الدافئ في أعمال تنفيذ الطرق بشكل واسع. يتضمن استخدامها العديد من الخطوات والعمليات المختلفة حيث يتم تعديل تركيبة الأسفلت باستخدام إضافات خاصة تهدف إلى تخفيض درجة حرارة الإنتاج. يتم إضافة هذه الإضافات إلى الأسفلت الساخن أو البارد قبل عملية الرصف. ويتم تسخين الأسفلت إلى درجة حرارة أقل مقارنةً بالأسفلت التقليدي. هذا يتطلب استخدام معدات تحكم في درجات الحرارة المناسبة. يتم خلط الأسفلت الساخن أو البارد مع المواد الأساسية الأخرى مثل الركام والرمل لإنتاج خليط الأسفلت النهائي. ويتم وضع الأسفلت الدافئ على سطح الطريق بواسطة آلات الرصف المعتادة. يتم فرشها ودمكها للحصول على سطح أملس ومتجانس.

#### 5. تحسين خواص الأسفلت باستخدام تقنيات الأسفلت الدافئ

تقنيات الأسفلت الدافئ تساهم في تحسين مقاومة الأسفلت للتشقق. عند تقليل درجة حرارة الإنتاج يتم تقليل التوترات الحرارية في الأسفلت مما يقلل من احتمالية حدوث التشققات الحرارية. بالإضافة إلى ذلك تستخدم بعض تقنيات الأسفلت الدافئ إضافات خاصة تعمل على تحسين مرونة الأسفلت وتقوية خواصه الميكانيكية مما يزيد من مقاومته للتشقق. الشكل 4 يوضح بعض أنواع التشققات التي تحدث في الطرق الاسفلتية.



الحفر

تشققات تمساحية

التخدد

شكل 4 أنواع التشققات التي تحدث في الطرق الاسفلتية

يمكن لتقنيات الأسفلت الدافئ أن تحسن مقاومة الأسفلت للتآكل وعادةً ما تشمل هذه التقنيات إضافات تعزز صلابة الأسفلت وتعمل على تقليل تأثير التآكل الناتج عن حركة المرور والعوامل البيئية مثل الأمطار والأشعة فوق البنفسجية.

تقنيات الأسفلت الدافئ يمكن أن تعزز الأداء العام للأسفلت. عند استخدام درجات حرارة أقل في عملية الإنتاج يتم تقليل التأثير الضار على خصائص الأسفلت مما يؤدي إلى تحسين مرونته ومتانته. هذا يعني أن الأسفلت الدافئ سيكون أكثر قدرة على تحمل حركة المرور والأحمال الثقيلة دون تدهور سريع. باستخدام تقنيات الأسفلت الدافئ يتم تحسين خواص الأسفلت والحصول على مواد أكثر دوامًا وأداءً ممتازًا في الطرق.

#### 6. المواد وطريقة العمل

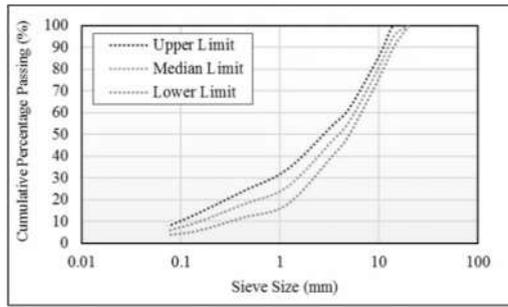
تم استخدام بيتومين 100/80 ومادة عضوية وهي مادة RH WMA والجدول 1 يلخص خواص البيتومين المستخدم. وتم إضافة مادة RH WMA الي البيتومين وكانت الكمية المضافة (3%) من الوزن الكلي للبيتومين ويوضح الشكل 5 هذه المادة وهي عبارة عن حبيبات صغيرة بيضاء اللون.

جدول 1 خواص البيتومين المستخدم

الخاصية	الوحدة	القيمة
اللزوجة عند 135 درجة مئوية	(Pa. s)	0.425
نقطة التليين	(°C)	43
الغرز	(0.1 mm)	81
المطولية	(cm)	100 ≤
نقطة الوميض	(°C)	331

ووفقًا لتعليمات الشركة المصنعة لمادة RH WMA يتم تسخين البيتومين أولاً إلى درجة حرارة الخلط مع RH WMA الي درجة حرارة 145 درجة مئوية ثم يتم تحريك البيتومين 10 دقائق لضمان توزيع الحرارة داخل البيتومين. يتم بعد ذلك إضافة RH WMA يدويًا. تم خلط النسب المطلوبة من RH WMA في خلط كهربائي لمدة 30 دقيقة.

تم استخدام ركام من صخر الجرانيت في تحضير جميع الخلطات وفي تصميم الخلطة لخلطة الخرسانة الإسفلتية AC14 وفقًا للمواصفات المحلية لإدارة الأشغال العامة الماليزية (JKR، 2008) يوضح الشكل 7 تدرج الركام.



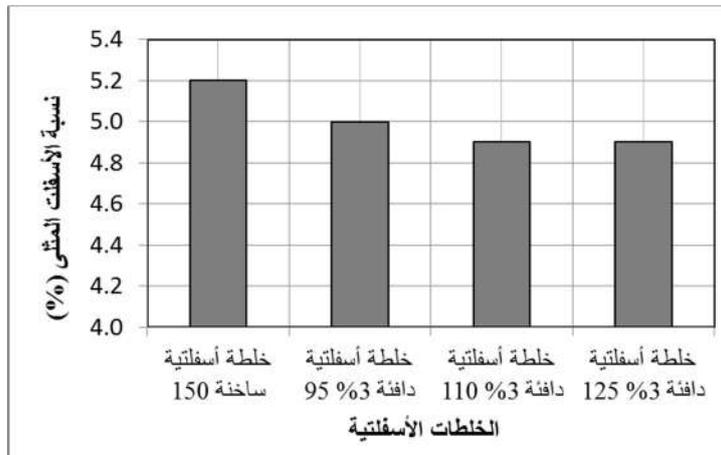
شكل 6 تدرج الركام المستخدم في الدراسة



شكل 5 RH WMA

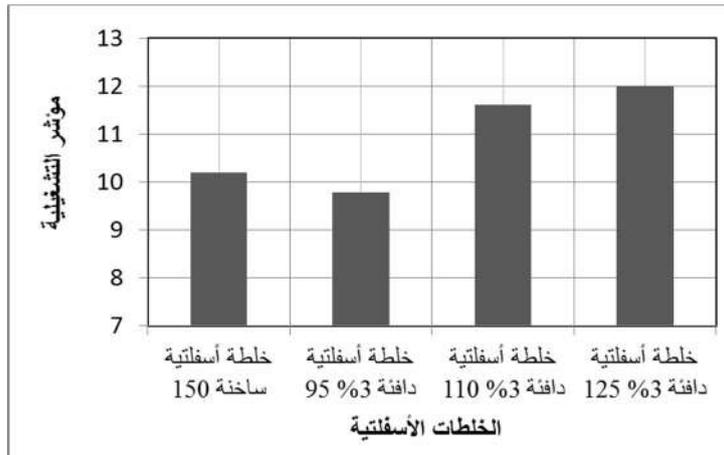
## 7. النتائج والمناقشات

تؤثر الإضافات المستخدمة في الأسفلت الدافئ على نسبة البيتومين المثلى وهي النسبة التي تحقق أفضل توازن بين خصائص الأداء والمتانة. بشكل عام يمكن القول إن الإضافات العضوية وغير العضوية تؤثر على نسبة البيتومين المثلى بطرق مختلفة. من خلال الشكل 7 يتبين انه عند استخدام نسبة 3% من RH WMA قلت نسبة البيتومين المثلى وهذا النقص زاد بزيادة درجة حرارة الدمك حيث تعمل الإضافات العضوية على تحسين قابلية خلط الأسفلت وتقليل لزوجته مما يسمح باستخدام نسبة أقل من البيتومين مع الحفاظ على خصائص الأداء المطلوبة.



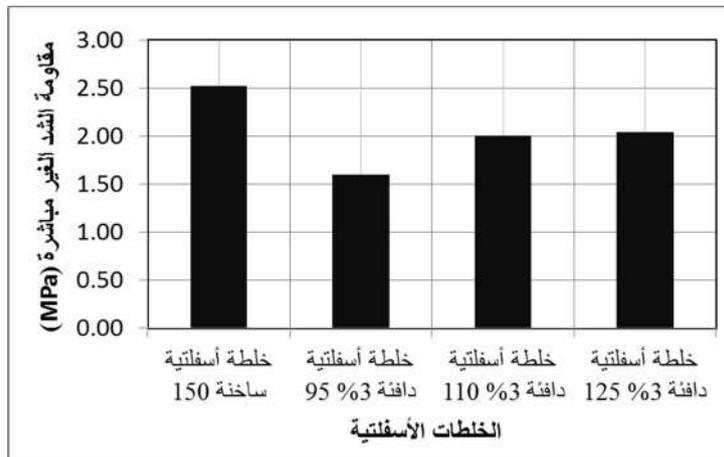
شكل 7 نتائج تحديد نسبة البيتومين المثلى

من الشكل 8 نلاحظ ان مؤشر التشغيلية للخلطات الإسفلتية التي تشمل على 3% RH-WMA أعلى من مؤشر التشغيلية للخلطات الاسفلتية الساخنة وتكون الزيادة في مؤشر التشغيلية أكثر وضوحاً عند ارتفاع درجات حرارة الدمك.



شكل 8 نتائج مؤشر التشغيلية للخلطات الأسفلتية الساخنة والدافئة

مقاومة الشد الغير مباشر للخلطات الأسفلتية هي خاصية تقيم قدرة الخلطة الأسفلتية على مقاومة الشد والتمدد عند تعرضها للحمل الخارجي. تتأثر مقاومة الشد الغير مباشرة للخلطات الأسفلتية بعدة عوامل بما في ذلك نوعية وكمية المواد المستخدمة في الخلطة مثل الركام والمواد الرابطة. كما يتأثر أيضاً بعوامل تصميم الخلطة مثل نسبة المواد المستخدمة ودرجة الحرارة المستخدمة في عملية الإنتاج. عادةً ما يتم تحقيق مقاومة الشد الغير مباشرة المناسبة عن طريق تحقيق توازن مناسب بين المواد وتصميم الخلطة. الشكل 9 يعرض نتائج اختبار مقاومة الشد الغير مباشرة للخلطات الأسفلتية في الشكل 9 يمكن ملاحظة من الشكل أن خلطات الأسفلت الساخنة كان لها أعلى قيمة لمقاومة الشد الغير مباشرة عند اختبار العينات عند 15 درجة مئوية.



شكل 9 نتائج مقاومة الشد الغير مباشرة للخلطات الإسفلتية الساخنة والدافئة

## 8. الخلاصة والاستنتاجات

من حيث الانتاج عند استخدام تقنيات الأسفلت الدافئ هناك انخفاض في استهلاك الطاقة بنسبة من 25% الي 70% مقارنةً باستخدام خلطات الأسفلت الساخنة ويعتمد حجم التخفيض إلى حد كبير على مقدار التخفيض في درجة حرارة الإنتاج. فخلطات الأسفلت الدافئة لها قدرة على الثبات ويوجد به تآكل أقل وقدرة كبيرة على الدمك ولا يحتاج الي مرور معدات الدمك لمرات كثيرة للوصول إلى الكثافة اللازمة.

تؤثر الإضافات المستخدمة في الأسفلت الدافئ على نسبة البيتومين المثلى بطرق مختلفة. بشكل عام تقلل الإضافات العضوية من نسبة البيتومين المثلى. من المهم تحديد نسبة البيتومين المثلى لكل مشروع على حدة مع مراعاة نوع الإضافات المستخدمة ونوع الركام وظروف المناخ وحركة المرور المتوقعة.

مقاومة الشد الغير مباشرة للخلطات الأسفلتية تعتبر مهمة لضمان استقرار ومثانة الطرق. فهي تساهم في تحمل الخلطة للأحمال المرورية وتقاوم التشقق والتمدد الناتج عن التغيرات الحرارية والحمل. يعتبر تحسين مقاومة الشد الغير مباشرة للخلطات الأسفلتية هدفاً مهماً في صناعة الطرق ويتم تحقيقه من خلال اختيار المواد الملائمة وتصميم الخلطة بعناية.

ان إنتاج خلطات الأسفلت الدافئة تعتبر عملية أكثر خضرة لما لها من تأثير أقل على البيئة مع تقليل انبعاثات الهيدروكربون والغازات الدفيئة. نظرًا لانخفاض درجة الحرارة فإنه أكثر أمانًا لعمال البناء.

## 9. التوصيات

- ① تجربة وتطبيق هذه التكنولوجيا على نطاق واسع باستخدام الإضافات العضوية والكيميائية وتقنيات الأسفلت الرغوي وتبسيط الضوء على هذه التجارب والتطبيقات العملية.
- ② ينبغي التأكيد على الحاجة إلى المزيد من البحوث والدراسات المستقبلية لتطوير هذه التكنولوجيا وتحسين أداءها.
- ③ يجب التركيز على الفوائد البيئية والاقتصادية والتحسينات التقنية التي توفرها تكنولوجيا الأسفلت الدافئ، بالإضافة إلى متطلبات التنفيذ والتطبيقات العملية والمجالات البحثية المستقبلية.

## المراجع

1. Rubio, M.C., et al., Warm mix asphalt: an overview. Journal of Cleaner Production, 2012. 24: p. 76–84.
2. Kilas, M., A. Vaitkus, and M. Paliukaitė, Warm mix asphalts research, analysis and evaluation. 2010.

3. Oliveira, J.R., et al., The role of a surfactant based additive on the production of recycled warm mix asphalts–Less is more. *Construction and Building Materials*, 2012. 35: p. 693–700.
4. Jamshidi, A., M.O. Hamzah, and Z. You, Performance of warm mix asphalt containing Sasobit®: State-of-the-art. *Construction and Building Materials*, 2013. 38: p. 530–553.
5. Shang, L., et al., Pyrolyzed wax from recycled cross-linked polyethylene as warm mix asphalt (WMA) additive for SBS modified asphalt. *Construction and Building Materials*, 2011. 25(2): p. 886–891.
6. Xu, Z., et al. Performance of Warm Asphalt Mixture Modified by New Additives. in *Fourth International Conference on Transportation Engineering*. 2013.
7. Chowdhury, A. and J.W. Button, A review of warm mix asphalt. 2008, Texas Transportation Institute, the Texas A & M University System.
8. Hamzah, M.O., B. Golchin, and C.T. Tye, Determination of the optimum binder content of warm mix asphalt incorporating Rediset using response surface method. *Construction and Building Materials*, 2013. 47: p. 1328–1336.
9. Caro, S., et al., Analysis of moisture damage susceptibility of warm mix asphalt (WMA) mixtures based on Dynamic Mechanical Analyzer (DMA) testing and a fracture mechanics model. *Construction and Building Materials*, 2012. 35: p. 460–467.
10. Zheng, J., S. Zhao, and B. Huang. Rut Resistance of Foamed Warm Mix Asphalt Containing RAP. in *2012 GeoHunan International Conference*. Reston: American Society Civil Engineers. 2012.
11. Hailesilassie, B.W., M. Hugener, and M.N. Partl, Influence of foaming water content on foam asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 2015. 85: p. 65–77.
12. Wasiuddin, N., et al., Comparative laboratory study of sasobit and aspha-min additives in warm-mix asphalt. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2007.
13. Wasiuddin, N., M. Zaman, and E. O'Rear, Effect of sasobit and aspha-min on wettability and adhesion between asphalt binders and aggregates.

- Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2008(2051): p. 80–89.
14. Zhao, G.-j. and P. Guo, Workability of Sasobit warm mixture asphalt. Energy Procedia, 2012. 16: p. 1230–1236.
15. Aman, M., et al., Effects of Anti-Stripping Agents in Warm-Mix Asphalt Incorporating Cecabase® Against Moisture Damage. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2014. 8(10): p. 447–456.
16. Hajj, E.Y. and E.M. Cortez, Evaluation Of The Cecabase Warm-Mix Additive. University Of Nevada Reno, in association with CECA Arkema Group, Nevada, 2011. 89557.

## دراسة التفاعل البوزولاني للبوزولانة الطبيعية النانوي المتحصل عليها بالمعالجة بالموجات فوق الصوتية

د. محمد عبدالسلام ابوبكر السبهاوي  
 عضو هيئة تدريس - جامعة سبها - كلية الهندسة - قسم المدنية والبيئية  
 mohamed.a.aboubakar@gmail.com

### المخلص

البوزولانا الطبيعية (طين الكاولين) في منطقة وادي الشاطئ وسبها هي مواد أسمنتية تكميلية، مناسبة في صناعة، الأسمنت والخرسانة، طين الكاولين الليبي مرتفع نسبيا في السيليكات، ويمكن الإشارة إلى خصائصه الفيزيائية والكيميائية فئة معايير المواصفات القياسية البوزولانا الطبيعي [1]

تم تطوير طريقة بسيطة للحصول على الهياكل النانوية البوزولانا الطبيعي، وذلك باستخدام المعالجة بالموجات فوق الصوتية بطريقة القرن بقوة 25 و 50 و 100 واط وترددات 20 كيلو هرتز لمدة نصف ساعة، تمت مقارنة التركيب الكيميائي والتبلور والتشكل والتفاعل لعينات البوزولانا الطبيعية قبل وبعد عملية المعالجة بالموجات فوق الصوتية. تم استخدام التصوير بالمجهر الإلكتروني الماسح وتحليل حجم الجسيمات لفهم آلية التعزيز البوزولاني للكاولين الليبي بعد معالجتها بالسونوكيمتر .

تم إجراء اختبارات مقاومة الانضغاط لتقييم خصائص الأسمنت المخلوط بنسب مختلفة من الكاولين المعالج النانوي ولمدة 28 يوم في ظل الظروف المثلى، أظهرت تفاعلا مقارنة ب البوزولانا الطبيعي السائب. تم التحقيق في تأثير حجم القوة الصوتية على نشاط البوزولانا. أظهرت النتائج تحسنا في حجم الجسيمات وفعالية للكاولين المعالج

الكلمات المفتاحية: البوزولانا الطبيعية. طين الكاولين. المعالجة بالسونوكيمتر. المعالجة بالموجات فوق الصوتية. معالجة طريقة القرن

### المقدمة:

تؤثر الموجات فوق الصوتية القوية على التفاعل الكيميائي من خلال تأثير يعرف باسم "التجويف". يحدث التجويف عن طريق تطبيق الموجات فوق الصوتية عالية الكثافة على السوائل، مما يؤدي إلى تراكم الضغط الجيبي على الضغط المحيط الثابت. ينتقل الصوت عبر السائل على شكل موجة تتكون من دورات ضغط وتخلخل متناوبة. في ظاهرة تسمى التجويف، تتعرض الفقاعات الدقيقة التي تتشكل أثناء دورة تخلخل الموجة الصوتية إلى انهيار عنيف أثناء دورة ضغط الموجة. أثناء دورة الضغط، يُقدر أن محتوى الفقاعة يتم تسخينه إلى 5000 كلفن، وينتج عن انفجار فقاعة التجويف أيضًا موجات صدمية عالية الطاقة بضغوط لعدة آلاف من الأجواء [5][7] التشتت بالموجات فوق الصوتية للمواد النانوية (الجسيمات النانوية) أصبحت المواد النانوية مكونًا لا يتجزأ من المنتجات المتنوعة مثل المواد عالية الأداء أو واقيات الشمس أو الطلاء أو المركبات البلاستيكية. يستخدم التجويف بالموجات

فوق الصوتية لتفريق جزيئات نانو الحجم في السوائل، مثل الماء، والنفط، والمذيبات [6] النتيجة النهائية لارتفاع درجة الحرارة هي تفاعل كيميائي. يؤدي الضغط المرتفع إلى زيادة عدد الاصطدامات الجزيئية بسبب تعزيز الحركة الجزيئية وانخفاض الحجم الإجمالي، مما يؤدي أيضًا إلى تفاعل كيميائي مرتفع [7]. يتطلب الاهتمام المتزايد بتطبيق الكيمياء الصوتية في كيمياء المواد والكيمياء الكهربائية والكيمياء البيئية [5]، [7]، [8] تمت دراسة المشكلات المتعلقة بتوزيع الطاقة الصوتية غير الموحد وتحديد المناطق النشطة في المفاعلات الصوتية ذات التردد 20 كيلو هرتز مؤخرًا. [7] ينتج التجويف بالموجات فوق الصوتية في الأنظمة الصلبة والسائلة أيضًا ظواهر عالية الطاقة. تشمل التأثيرات الفيزيائية المسؤولة بشكل أساسي عن هذه التحسينات [6][7].

(أ) تحسين النقل الجماعي من الخلط المضطرب والتدفق الصوتي.

(ب) توليد تلف السطح في السطوح البينية السائلة الصلبة بواسطة موجات الصدمة والنفثات الصغيرة.

(ج) توليد أضرار عالية - سرعة اصطدام الجسيمات بين الجزيئات في الملاط.

(د) تغتيت المواد الصلبة القابلة للتفتيت لزيادة مساحة السطح [7][8] هناك نوعان من أساليب الصوتية المتاحة، وأساليب القرن. في هذه الدراسة تم استخدام طريقة القرن الكيميائية الصوتية لتنشيط طين الكاولين للحصول على الكاولين الصوتي المعالج وفهم تأثير الموجات الصوتية على نشاط الكاولين البوزولاني.

صوتنة القرن هي الطريقة الأكثر شيوعًا لمعالجة العينة. يتم نقل الطاقة من المسبار مباشرة إلى العينة بكثافة عالية وتتم معالجة العينة بسرعة.

يحدد قطر طرف المسبار حجم السائل الذي يمكن معالجته بشكل فعال. توفر أقطار الأطراف الأصغر (مجسات Microtip) صوتنة عالية الكثافة وتتركز الطاقة داخل منطقة صغيرة مركزة. يمكن لأقطار الأطراف الأكبر معالجة أحجام أكبر، ولكنها توفر كثافة أقل. يمكن استخدام التعزيزات والأبواق عالية الكسب لزيادة إنتاج المجسات ذات القطر الكبير. يتم تقديم المجسات إما بأطراف صلبة أو قابلة للاستبدال ومصنوعة من التيتانيوم.

في التفاعلات مع المواد الصلبة، تقوم الموجات فوق الصوتية بتكسير القطع الصلبة بسبب الطاقة المنطلقة من الفقاعات الناتجة عن انهيار التجويف من خلالها. وهذا يمنح المادة الصلبة المتفاعلة مساحة سطحية أكبر لمواصلة التفاعل، مما يزيد من معدل التفاعل الملاحظ. الهدف من هذه الدراسة هو دراسة تأثير الاستبدال الجزئي للأسمنت البورتلاندي بالكاولين المعالج كيميائياً.

## 1. الطريقة والمواد

تم جمع التربة الطينية (الكاولين) من (تمننت - سبها) في الجنوب الليبي حول مناطق مدينة تمننت - سبها كما هو موضح في الجدول رقم 1 وفي الشكلين 1 و2. وقد تم تنفيذ معظم الأعمال التجريبية في مختبر تكنولوجيا الخرسانة بقسم الخرسانة. الهندسة المدنية وفقاً لمعايير BS وASTM.

جدول (1) الموقع والأكاسيد الرئيسية للكاولين الليبي من تمننت - سبها

Sample	Location	Mineral in clay (%)
Libyan Kaolin (LKT) Sebha -Temenhint	Ten km in Temenhint -Sebha road :0.5m from ground surface, near a road side	Kaolinite50%, Quartz 50%



شكل 1. حيدة الكاولين الليبي من تمننت - سبها

شكل 2. خريطة جنوب ليبيا توضح موقع استخراج التربة /حيدة الكاولين من تمننت - سبها

## 1.1 الاسمنت البورتلاندي

تم الحصول على الأسمنت البورتلاندي I CEM 52.5 من أسمنت المطابق للمواصفات حسب [1] ASTM [4] 150. هذا هو الأسمنت المصنوع من مواد خام نقية بشكل خاص لا تحتوي على الحديد (مثل الطين الصيني والحجر الجيري الأبيض) بحيث يكون محتوى ألومينوفيريت رباعي الكالسيوم منخفضاً جداً. عادة ما يتم تصنيعه في فرن منفصل، وبالتالي فهو أكثر تكلفة من الأسمنت البورتلاندي القياسي. حالياً، هذا الأسمنت متوفر فقط في المملكة المتحدة ضمن فئة القوة 52.5 (Bs En 197-12011). تظهر في الجدول 2.

جدول 2: التركيب الكيميائي للأسمنت البورتلاندي القياسي. CEM I 52, 1 N

Oxides	Cement
SiO <sub>2</sub>	19.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.08
MgO	1.21
CaO	62.44
K <sub>2</sub> O	0.89
Na <sub>2</sub> O	0.27
SO <sub>3</sub>	3.29
TiO <sub>2</sub>	0.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11
L.O.I	2.72
Specific surface area (g/cm <sup>2</sup> )	4010
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.93
Specific gravity (kg/dm <sup>3</sup> )	3.1

## 1.2 الرمال

الرمال المستخدمة كانت رمل الكوارتز الطبيعي. كان تصنيف الرمال المستخدمة ضمن الحدود الموصي بها من [3]. تم استخدام الرمل الطبيعي لصنع عينات ملاط مكعب 50 مم لاختبار قوة الضغط وفقاً للمواصفة [2].

## 2. تحليل كيميائي

يوضح الجدول 3 التحليل الكيميائي للكاولين الخام من موقع تمنهنت - سبها. وقد تم إجراء ذلك باستخدام تقنية فلورية الأشعة السينية (XRF).

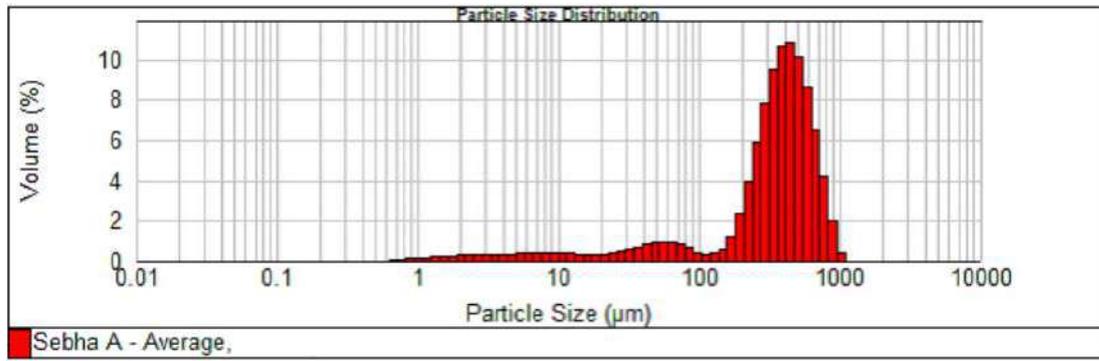
وقبل المعالجة الكيميائية الصوتية يبين الشكل 3 المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) لطين الكاولين (تمنهنت - سبها) قبل المعالجة.

جدول 3. التركيب الكيميائي لعينة الكاولين (الطين) تمنهنت - سبها

sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TOTAL	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
Clay Sebha (%)	65.29	24.14	0.89	80.82	0.21	<0.04	1.30	0.02	0.04	1.03	0.14	6.54

## 2.1 تحليل حجم الجسيمات

ويبين الشكل 3 أحجام الجسيمات لعينة طين سبها المستخدمة في هذا البحث قبل العلاج. ويمكن ملاحظة أن غالبية الجزيئات يتراوح من 1-1000 مايكرومتر. تم الحصول على هذه البيانات بعد تمرين تحليل حجم الجسيمات. قطر الأغلبية الفعلي (D) يتراوح بين 400-500 مايكرومتر بحجم 10.5



الشكل 3. تحليل حجم الجسيمات من طين الكاولين (تمنهنت - سبها) قبل المعالجة الكيميائية الصوتية .



الشكل 4: صورة SEM ولون طين سبها قبل المعالجة الصوتية بطريقة القرن

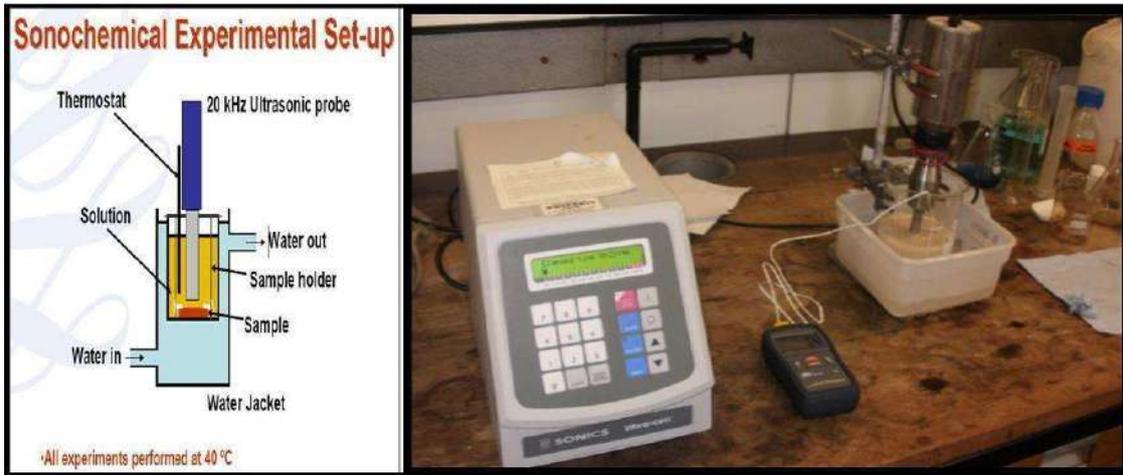
## 3. طريقة العمل

## 3.1 طريقة العلاج بالقرن

تم تنفيذ تطبيق الموجات فوق الصوتية باستخدام موجات فوق صوتية تم إنشاؤها باستخدام معالج بالموجات فوق الصوتية من نوع 750 Sonics Vibra cell VCX مزودة بمسبار تيتانيوم مقاس 13 مم كما هو موضح في الشكل 5، وهو عبارة عن سلسلة صوتية عالية الكثافة Auto Tune، طراز W100 بتردد 20 كيلو هرتز.

تم صوتنة المحاليل (100 مل) مع 10 جرام من الكاولين بواسطة قوى مختلفة من 25 و 50 و 100 واط عند درجة حرارة الغرفة، لتجنب التسخين الزائد للعينة، تم غمر الدورق في حمام مائي عند درجة حرارة 25 درجة مئوية. تم الحفاظ على درجة الحرارة أقل من 40 درجة مئوية في العينة.

تم تنفيذ الصوتية لمدة 30 دقيقة بواسطة sonicator. كانت سعة الدورق للصوتنة 200 مل بأبعاد 95 ملم. وكان ارتفاع قرن صوتنة في السائل 30 ملم كما هو مبين في الشكل 5.



الشكل 5. المعالجة الكيميائية الصوتية طريقة العلاج بالقرن بواسطة VCX 750 مزودة بمسبار تيتانيوم 13 مم

## 3.2 نسب الخلط

تم تصنيع عدد 30 خلطة مونة تحتوي على 10% - 20% - 30% كاولين تمنهنت - سبها معالج كيميائياً صوتياً (LKST) بقوة 25 و 50 و 100 واط. تمت مقارنة قوة الضغط لهذه الخلطات مع مزيج التحكم المصنوع من الأسمنت البورتلاندي بنسبة 100%. يوضح الجدول 4 نسب خلط مونة تحتوي على 10% الكاولين المعالج وبدونه. تمثل التسميات 1LKT و 2LKT و 3LKT تطبيقات طاقة بقدرة 25 و 50 و 100 واط على التوالي. في نسب الخلط تمثل التسميات 1LKT و 2LKT و 3LKT تطبيقات طاقة بقدرة 25 و 50 و 100 واط على التوالي

الجدول 4. نسب خلط الأسمنت و10% الكاولين المعالج كيميائياً عند طاقة مختلفة.

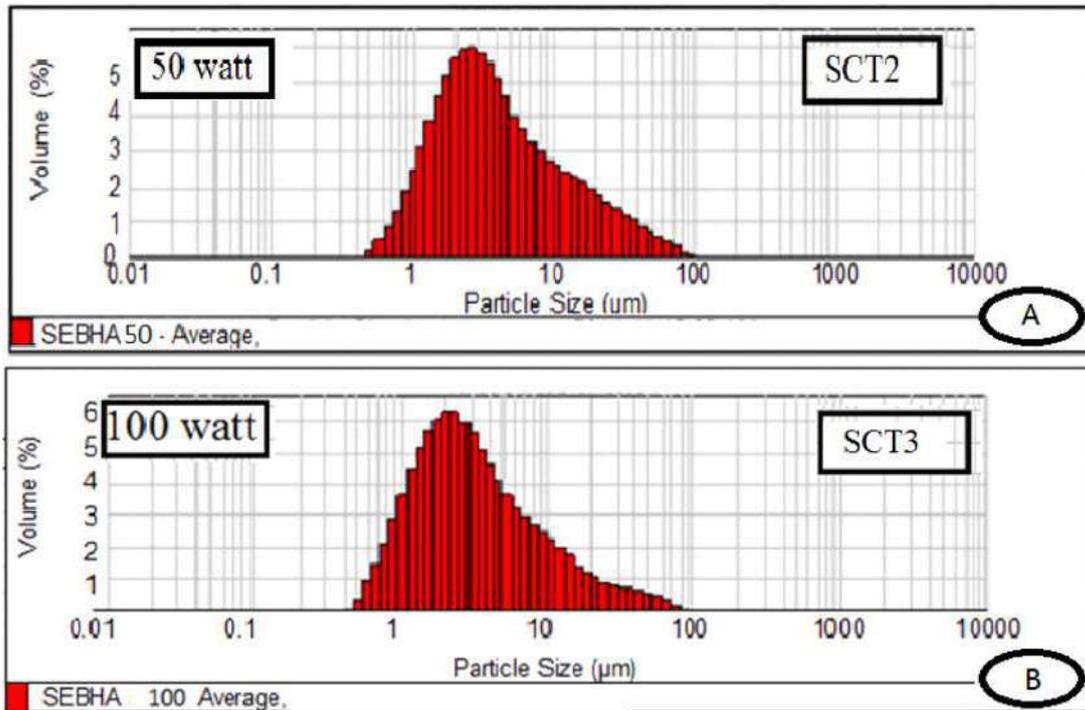
Sample/mix	Code	Libyan kaolin treated LKST (%)	Portland Cement	Water: Cement	Sonic treated power (Watt)
OPC	Control	0	100	0.485	0
Libyan treated kaolin (LKT) from Sebha /T site	LKT1	10	90	0.485	25
	LKT2	10	90	0.485	50
	LKT3	10	90	0.485	100

### 3.3 عينات الملاط

تم تحديد نسبة ثابتة من المواد الأسمنتية (الأسمنت البورتلاندي بالإضافة إلى الكاولين الليبي) إلى الرمل عند 1 إلى 2.75 بالوزن، وتم الحفاظ على نسبة الماء إلى المواد الأسمنتية عند 0.485. تم استبدال الأسمنت البورتلاندي بمادة الكاولين بنسبة 10% وزناً من المواد الأسمنتية. تم صب جميع الملاط في قوالب مكعبة مقاس 50 × 50 × 50 مم وإزالتها من القوالب بعد الصب لمدة 24 ساعة ثم معالجتها عند درجة حرارة الماء القياسية 21 ± 1 درجة مئوية. تم تحديد قوة الضغط لعينات الملاط عند أعمار 3، 7، و28 يوماً. تم تحضير جميع العينات واختبارها طبقاً للمواصفة (ASTM C 109-1997).

### 4. نتائج تحليل حجم الجسيمات

مثل الشكل 6 (A/B) حجم الجسيمات لعينة طين الكاولين سبها تمنهنت بعد المعالجة الكيميائية الصوتية. وبقدرة 25 و50 و100 واط على التوالي، يمكن ملاحظة أن غالبية الجسيمات تقع بين 1 و100 مايكرومتر. لقد وجد أن المعالجة عند 100 وات أدت إلى أفضل توزيع لحجم الجسيمات لأنها أنتجت جزيئات أصغر. كما يظهر في الجدول 5 تحليل حجم الجسيمات للكاولين المعالج وغير المعالج بالصوت المستخدم في الجدول 5، ويمكن ملاحظة أن غالبية يتراوح حجم الجسيمات بين 0.1 و30 مايكرومتر. يوضح هذا الجدول أن زيادة الطاقة تنتج جسيمات أصغر كما هو متوقع.



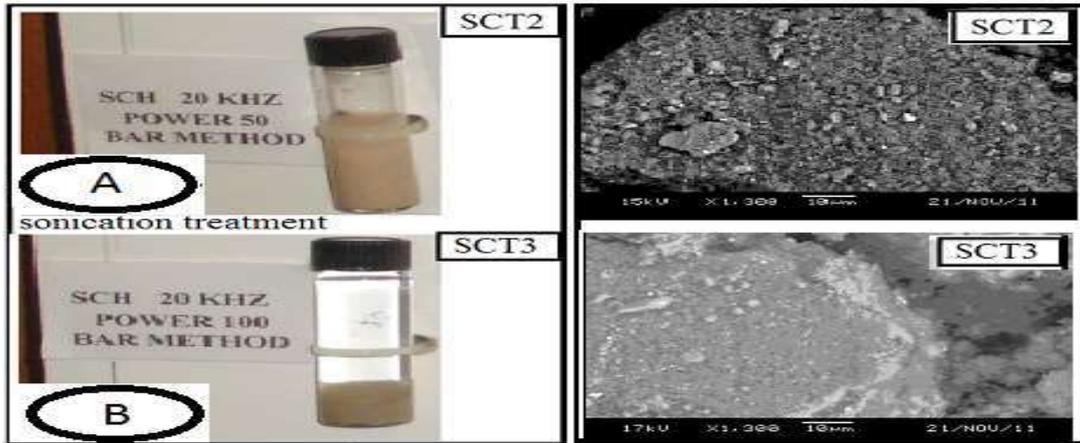
شكل 6: منحنيات حجم الجسيمات لطين سبها بعد المعالجة الصوتية بطريقة القرن بقدرات مختلفة 50 واط و100 واط عند 30 دقيقة.

جدول 5، حجم حبيبات طين سبها قبل وبعد المعالجة الصوتية بطريقة القرن بقدرات 25، 50، 100 واط.

Sample	the majority of particles lie between ( $\mu m$ )	the higher diameter ( $\mu m$ )	Volume higher diameter %
Non treated kaolin	300-600	450	10.5
LKT1	0.45-100	3.0	5.0
LKT2	0.45-100	2.5	5.0
LKT3	0.4-100	2.0	5.5

##### 5. البنية المجهرية صورة SEM

الشكل 7 يوضح لون الطين والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) للطين (سبها) بعد المعالجة الصوتية بطريقة البوق بقدرات مختلفة 50 واط و100 واط على التوالي عند 30 دقيقة. وقد لوحظ تغير اللون بعد معالجة وشكل جزيئات الكاولين تم تعديله بعد المعالجة الكيميائية الصوتية. وأكدت صور SEM أن حجم جسيمات الطين انخفض بشكل كبير. كما يبدو أن الجسيمات لها سطح مكسور أكثر مقارنة بالطين قبل المعالجة.

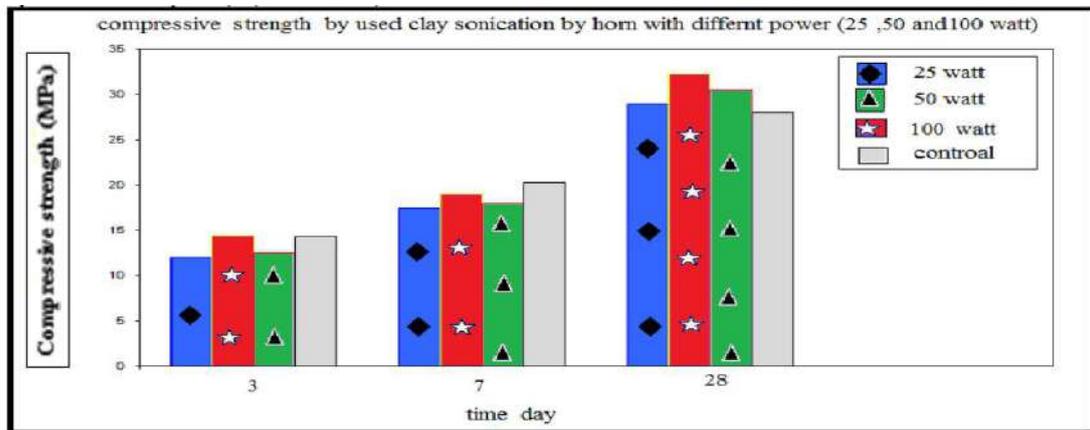


الشكل 7 A/B: المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) طين الكاولين بعد المعالجة بالطريقة الكيميائية الصوتية (100/50 واط) الكاولين - سبها

#### 6. اختبار قوة الضغط

الشكل 8 والجدول 5 يوضح تطور قوة الضغط لعينات الملاط في أعمار مختلفة. يمكن ملاحظة أن القوة المختلفة المستخدمة في معالجة طين سبها تؤثر على قوة الملاط. زاد معدل اكتساب القوة مع زيادة القوة الصوتية. أيضًا، لم يكن للمعالجة الصوتية للكاولين أي تأثير سلبي على تطور القوة الطبيعية لعينات الملاط مع تقدم العمر، أي أن القوة زادت مع مرور الوقت كما هو متوقع. يوضح الشكل 8 والجدول 5 تطور قوة الضغط لعينات الملاط في أعمار مختلفة. يمكن ملاحظة أن الطاقة المختلفة المستخدمة في المعالجة الكيميائية الصوتية للكاولين تؤثر على قوة الملاط. زاد معدل اكتساب القوة مع زيادة القوة الصوتية.

أيضًا، لم يكن للمعالجة الصوتية للكاولين أي تأثير سلبي على تطور القوة الطبيعية لعينات الملاط مع تقدم العمر، أي أن القوة زادت مع مرور الوقت كما هو متوقع



الشكل 10. نتائج اختبار قوة الضغط (MPa) (تمننت - سبها)

## 7. الاستنتاج

تمت معالجة الكاولين الليبي من موقع العافية باستخدام تقنية القرن الصوتية الكيميائية عند قوة صوتية مختلفة وقوة ضغط لعينات الملائ المصنوعة من الكاولين المعالج بنسبة 10% كما تم قياس استبدال الأسمنت. الاستنتاجات التالية يمكن استخلاصها

- يمكن استخدام الطين الطبيعي (طين الكاولين الليبي) الذي تم جمعه من موقع (تمنهن - سبها) كبديل جزئي للأسمنت بعد معالجته بواسطة المواد الكيميائية الصوتية
- يتوافق التركيب الكيميائي لـ تمنهن - سبها قبل وبعد العلاج مع ASTM C 618-03 ويمكن تصنيفه على أنه فئة N.
- حققت العينات المصنوعة من الكاولين المعالج بنسبة 10% بقوة صوتية تبلغ 100 واط أعلى قوة ضغط إلى 32.3 ميغا باسكال في 28 يوماً.
- تم تعديل حجم الجسيمات ومورفولوجية جزيئات الكاولين بشكل ملحوظ بعد المعالجة الكيميائية الصوتية. كلما زادت الطاقة الصوتية المستخدمة، تم تحقيق حجم جسيم أصغر وقوة ضغط أعلى
- في المختبر، يمكن إجراء المعالجة الكيميائية الصوتية بشكل اقتصادي. لكن في الوقت الحالي، على المستوى الصناعي، ستكون هذه المعالجة مكلفة للغاية مقارنة بالمعالجات الحرارية.

## المراجع

1. ASTM C 618-97. (1997). "Standard specification for natural pozzolan". Annul Book of ASTM Standards.
2. ASTM C 109. (1997). "Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars", Annul Book of ASTM Standards.
3. ASTM C778. (2003). " Standard specification for standard sand ". Annul Book of ASTM Standards.
4. BS EN 197-1. (2011). "Cement. Composition, specifications and conformity criteria for common cements", British Standard Institute.
5. Gedanken, Aharon. (2004). "Using sonochemistry for the fabrication of nanomaterials." Ultrasonics Sonochemistry 11.2: 47-55.
6. Jiang, Li-Ping, et al. (2004). "Ultrasonic-assisted synthesis of monodisperse single crystalline silver nanoplates and gold nanorings." Inorganic chemistry
7. Mason.T.J. and Lorimer. J.P. (1998). "Sonochemistry, Theory, Applications and Uses of Ultrasound in Chemistry", Ellis Horwood Ltd.
8. Suslick K.S. and Price G.J. (1999). "Applications of Ultrasound to Materials Chemistry ", Annual Review of Materials Science, 29, 295-326.

## تأثير الرماد المتطاير على مواصفات المونة الاسمنتية

م. أحمد محمد بقي<sup>1\*</sup>، أ. د. فؤاد فرح فروح<sup>2</sup>

(1) طالب دراسات عليا، قسم الهندسة المدنية والبيئية، كلية الهندسة، جامعة سبها

(2) أستاذ، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة وادي الشاطئ

\*للمراسلة ahmedbaggei780@gmail.com

## الملخص

تركزت الأبحاث والدراسات في السنوات الأخيرة على ضرورة إيجاد مواد بديلة تضاف بنسب مختلفة إلى الإسمنت لزيادة الكمية المنتجة وتقليل درجة التلوث البيئي وإيجاد مواصفات محسنة للأسمنت، وهذه المواد عبارة عن إضافات إما أن تكون مخلفات صناعية أو مخلفات طبيعية.

ويعتبر الرماد ناتج حرق بجانب الصناعة (fly ash) ، وناتج حرق بعض المحاصيل مثل : قشور الأرز والقمح الذي ينتج عنه كمية جيدة تحتوي على نسبة عالية من أكسيد السيليكا ، والذي بدوره يحسن من مواصفات الإسمنت من حيث التشغيلية والمتانة والالتصاق. تعتبر المواد البوزولانية المذكورة سابقا مواد قليلة الفعالية في حال عدم خلطها بالإسمنت وتصبح مواد محسنة في حال خلطها بالإسمنت بنسب معينة وذلك نتيجة للتفاعلات الكيميائية الحاصلة من إماهة الإسمنت ووجود نسب عالية من السيليكات في الخبث المستبدل.

إن دراسة استبدال نسب من الاسمنت البورتلاندي بالرماد ناتج حرق الأرز والقمح اثبتت من خلال الأبحاث السابقة بأنها مجدية وفعالة واختلفت الآراء حول نسبة الاستبدال حيث اثبتت ان الاستبدال بنسبة بين (10-25-30%) تعطي نتائج جيدة مع بقاء مواصفات الخلطة بشكل مقبول، في بحثنا استخدمنا عدة أنواع من ناتج الحرق مع تحديد نسبة السيليكات فيها وهي كالتالي:

1- رماد قش القمح.

2- رماد محطة الطاقة الكهربائية (الخمس).

3- رماد النخيل.

4- رماد الفحم.

حيث تم استخدام هذه المواد في المونة الإسمنتية بالاعتماد على نسب محده من الاستبدال وملاحظة التغير الحاصل في الخواص الميكانيكية والفيزيائية للحالة السائلة للخلطة، ولمواصفات الناتج المتصلب وفقا لنسبة البوزولانا المستبدلة.

الكلمات الدالة: بوزولانا، رماد قش القمح، رماد محطة الطاقة الكهربائية، رماد النخيل، رماد الفحم

## 1-1 المقدمة:

يعتبر تحديث مواد البناء من الأمور الهامة في الهندسة المدنية والذي بدوره يعبر عن مدى استخدام الإنسان لمواد البناء الملائمة والموجودة في بيئته لتكون رافدا للاقتصاد الوطني وتحسين مواد البناء الموجودة أصلا والمستحدث الرافدة لها [1].

ان مواد البناء المتواجدة قبل 20 سنة تغيرت وتبدلت ودخلت بعض التحسينات على بعضها بحيث واكبت التطور العلمي ونتائج الابحاث في هذا المجال [2].

من الأبحاث التي دخلت عليه الكثير من التحسينات في الآونة الأخيرة الابحاث الخاصة بالإسمنت والمواد المضافة اليه والمواد المستبدلة، ومنها البوزولانا بأنواعها، الطبيعية و الصناعية (ناتج جانبي للصناعات) [3].

في هذا البحث تطرقنا الي إضافة هباب فحم السيليكات (FA) الهباب المتطاير وناتج حرق النباتات وتأثيرها على مواصفات المونة الاسمنتية [3].

**2-1 الهدف من البحث:** الهدف من البحث دراسة مدى تأثير استبدال هذه الأنواع من الرماد بنسب وزنية محددة من وزن الإسمنت طبقا للمواصفات وملاحظة تأثيرها الإيجابي والسلبي على المونة الاسمنتية، وماهي التغيرات في الخصائص الفيزيائية والميكانيكية وكذلك الى استغلال هذا الرماد الموجود في ليبيا والذي بدوره يعتبر مشكلة بيئية مستقبلا، وكذلك اقتصاديا من حيث تقليل نسبة الاسمنت واستبدالها بنسبة من ناتج حرق هذه المخلفات.

## 1-2 التحاليل الكيميائية:

## 1-1-2 رماد النخيل:

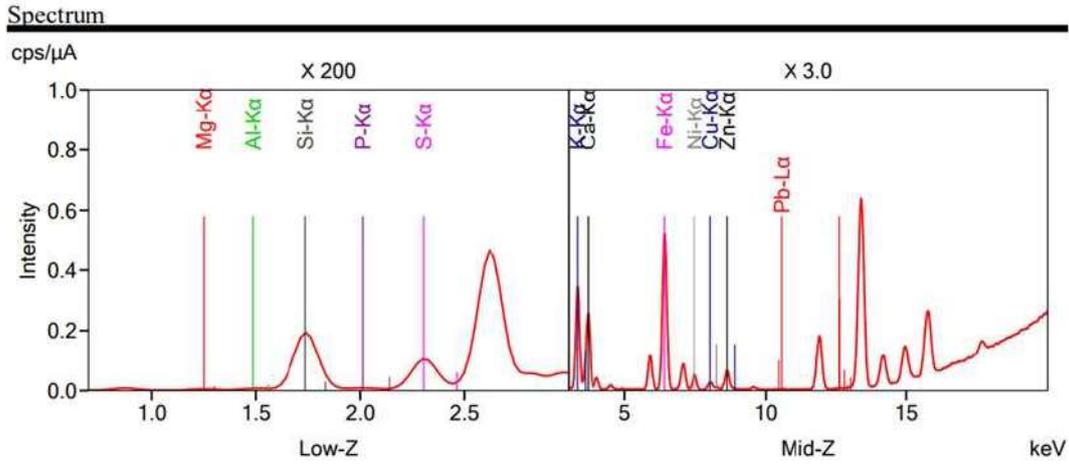
## Analyzed result

## Sample Information

Sample name	رماد النخيل
File name	brak_202102141223
Application	brak
Date	2/14/2021 12:23 PM
Analyzed by	MANSOUR
Counts	1
Comment	brak

## Analyzed result(FP method)

No.	Component	Result	Unit	Stat. Err.	LLD	LLQ
1	SiO2	47.3	mass%	0.0724	0.0217	0.0651
2	K2O	15.4	mass%	0.0984	0.0413	0.124
3	CaO	11.3	mass%	0.0893	0.0913	0.274
4	SO3	10.9	mass%	0.0238	0.0122	0.0366
5	MgO	8.76	mass%	0.127	0.223	0.669
6	Al2O3	3.00	mass%	0.0435	0.0858	0.257
7	Fe2O3	1.91	mass%	0.0104	0.0005	0.0016
8	P2O5	1.31	mass%	0.0156	0.0297	0.0890
9	NiO	0.0869	mass%	0.0014	0.0002	0.0005
10	ZnO	0.0529	mass%	0.0008	0.0001	0.0004
11	CuO	0.0328	mass%	0.0007	0.0004	0.0013
12	PbO	0.0049	mass%	0.0002	<0.0001	0.0001



الشكل 1-2 يوضح التحليل الكيميائي لرماد النخيل

يحتوي الجدول المرفق 1-2 على مكونات المواد في رماد القش ورماد محطة طاقة الكهربائية في الخمس ورماد الفحم ورماد النخيل:

جدول 1-2 يحتوي على مكونات المواد % في رماد القش ومحطة طاقة الكهربائية في الخمس والنخيل

الأكاسيد والمكونات	رماد النخيل	رماد محطة طاقة الكهربائية في الخمس	رماد القش القمح
SiO <sub>2</sub>	47.3	6.60	38.8
K <sub>2</sub> O	15.4	0	30.1
CaO	11.3	3.33	13.7
SO <sub>3</sub>	10.9	49.0	4.65
MgO	8.76	0	3.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.00	4.14	2.89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.91	26.5	2.81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.31	0	3.36
NiO	0.0869	8.79	0.156
ZnO	0.0529	1.09	0.0758
CuO	0.0328	0.292	0.0703
PbO	0.0049	0.208	0

## 2-1-2 رماد مصنع الإسمنت:

System	Report:	Dust	From:	28-Dec-20 00:00:30
	Package:	DUST	To:	28-Dec-20 15:10:52
	Type:	System	First:	2904959
	Description:	Oxides,metrohm,Eltra...	Last:	2905319

SampleID	Date	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	SO3	Cl	LSF	SIM	ALM	S-Group	Comment	Wet slice
2905087	28-Dec-20 08:24:48	9.73	3.19	2.39	47.57	1.09	0.05	0.42	0.48	0.00	146.09	1.74	1.33	DUST	LINE-1 ESP.	--
		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			0
Mean:		11.12	3.47	2.57	45.96	1.33	0.05	0.46	0.81	0.00	124.60	1.84	1.35			0.00
Min:		9.73	3.19	2.08	43.86	1.09	0.05	0.42	0.48	0.00	112.48	1.74	1.07			
Max:		11.91	3.74	3.25	47.57	1.63	0.05	0.48	0.97	0.00	146.09	2.05	1.80			
S.dev:		1.20	0.28	0.60	1.91	0.27	0.00	0.04	0.28	0.00	17.86	0.18	0.37			
R.Dev:		10.84	7.93	23.52	4.15	20.67	1.04	7.75	35.16	-	14.20	9.49	26.36			
Sum:																

Weighted mean:

## الشكل 2-2 يوضح التحليل الكيميائي لرماد مصنع الإسمنت

## 2-2 التجارب والنتائج والمناقشات:

## 2-2-1 المونة الاسمنتية:

## 2-2-1-1 الاختبارات المعملية:

تم إجراء جميع الاختبارات على المونة الاسمنتية داخل معمل تكنولوجيا الخرسانة بقسم الهندسة المدنية ، وكانت نسبة الاستبدال كالآتي (50،20،10،0) % من وزن الاسمنت البورتلاندي العادي ، حيث أن الرمل الذي تم استخدامه رطب وكان الخلط يدوي وتم الخلط على الجاف أولاً حتى تتجانس لون الخلطة بين الرماد والاسمنت و الرمل ، وكانت نسبة الاسمنت الى الرمل (3:1) طبقاً للمواصفات الخلط ، ونسبة الماء (0.4) في كل خلطة ، وتم استبدال وزن معين من الإسمنت بوزن معين من الرماد وفقاً للنسب المحددة وكذلك نوع الرماد المستخدم حيث كانت عمليات الخلط كالآتي :

جدول 2-2: كمية المواد المستخدمة في الخلطة بالنسبة المئوية %.

نسبة الماء	نسبة الرماد	نسبة الرمل	نسبة الاسمنت	نوع الرماد
0.6	0%	300%	100%	رماد أشجار النخيل
0.6	10%	300%	90%	
0.6	20%	300%	80%	
0.6	50%	300%	50%	
0.85	80%	300%	20%	
0.6	10%	300%	90%	رماد قشور الاقماع
0.6	20%	300%	80%	
1.25+ ملدن	80%	300%	20%	
0.6	10%	300%	90%	رماد الفحم
0.6	20%	300%	80%	
0.6	50%	300%	50%	
0.85	80%	300%	20%	
عينات الإضافة				رماد محطة التوليد الكهربائي
0.6	5%	300%	100%	
0.6	10%	300%	100%	

تم وزن عينة من كل خلطة بعد الانتهاء من الخلط وكانت الاوزان العينات كالآتي:

جدول 2-3 يوضح اوزان عينات الخلطات (الطازجة)

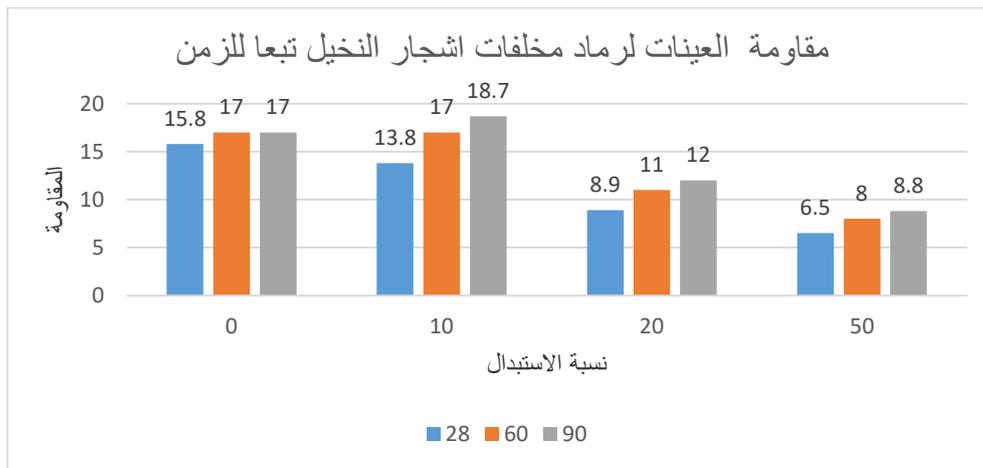
اوزان العينات			نوع الرماد
الوزن العينة طازجة (g)			نسبة المستبدل
80%	20%	10%	رماد النخيل
366	409	401	رماد الفحم
384	415	409	رماد الفحم
145	380	381	رماد الفحم

2-2-1-2 نتائج اختبارات مقاومة الضغط لعينات المونة الاسمنتية:

جدول 2-4: العلاقة بين الزمن ومقدار المقاومة لعينات الخلطة واختبار طاولة الانسياب للمونة الاسمنتية

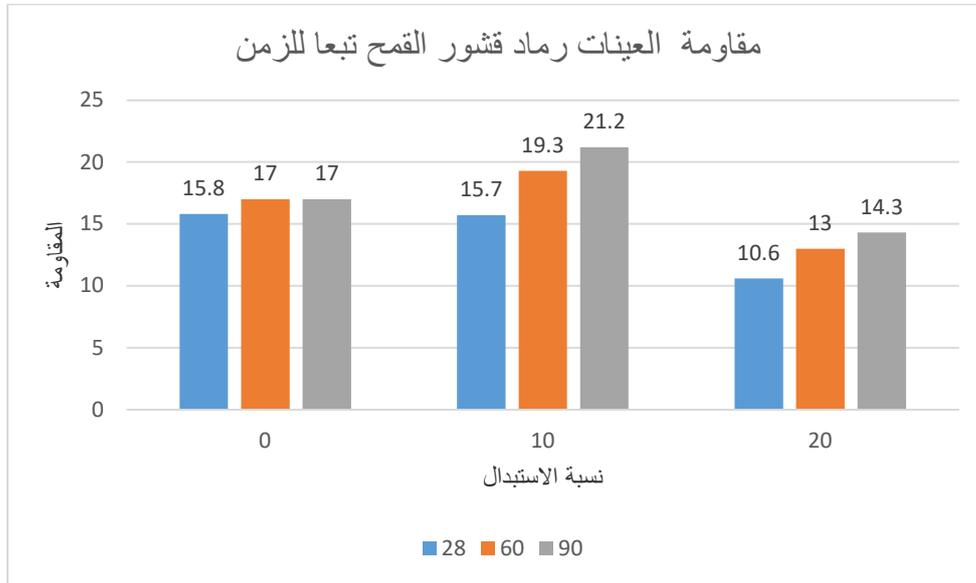
اختبار الطاولة	وسطى المقاومة	وسطى المقاومة	وسطى المقاومة	نسبة المستبدل	نسبة الرمل	نسبة الاسمنت	
	90	60	28			الأيام	رماد الاخشاب المحروقة
				SF	P	C	
25	17	17	15.8	0	300	100	
20	18.7	17	13.8	10	300	90	
17	12	11	8.9	20	300	80	
15	8.8	8	6.5	50	300	50	رماد قشور الاقماع
25	17	17	15.8	0	300	100	
16.5	21.2	19.3	15.7	10	300	90	
14	14.3	13	10.6	20	300	80	
25	18	16.3	13.3	0	300	100	رماد الفحم
21.5	19	17.5	14.2	10	300	90	
20	12.9	11.7	9.6	20	300	80	
18	11.4	10.3	8.4	50	300	50	
						عينات الإضافة	رماد محطة التوليد الكهرياء
25	18	16.3	13.3	0	300	100	
0	15	13.6	11	5	300	100	
0	9	8	6.6	10	300	100	

3-1-2-2 المخططات البيانية:

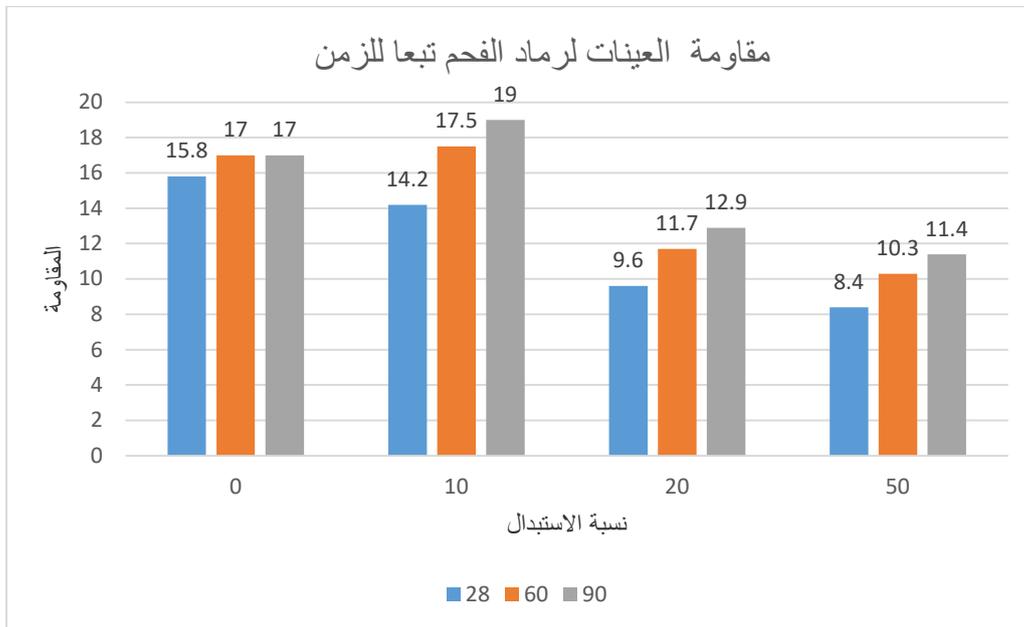


الشكل 2-3 يوضح مقاومات الضغط للمونة للمستبدل رماد النخيل

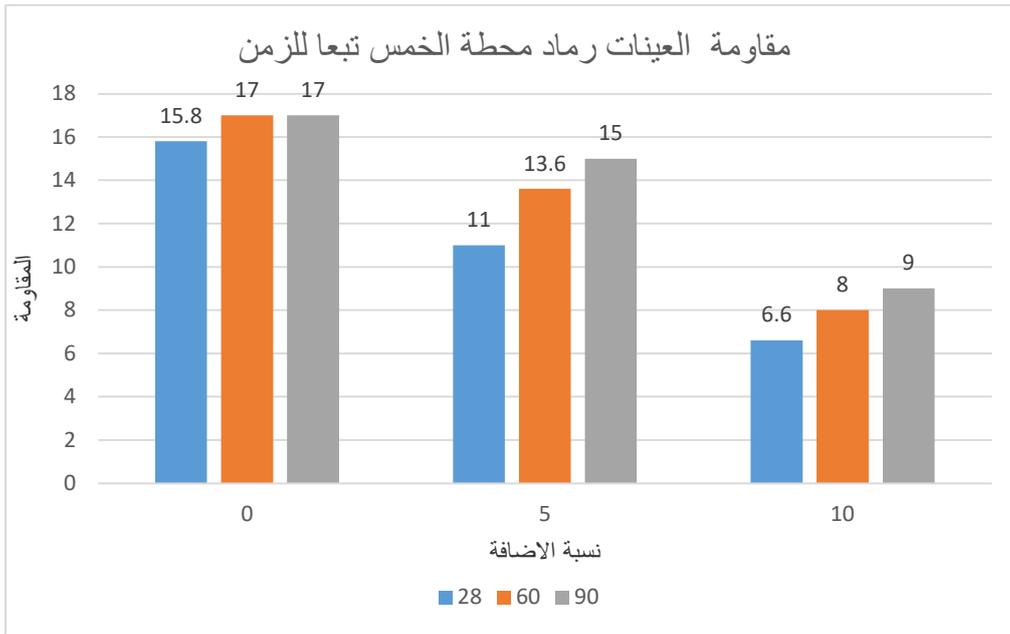
عند حساب مقاومات المونة نلاحظ ازدياد المقاومة حتى (10%) بعد (90) يوم، وتقل المقاومة بزيادة نسبة الاستبدال، ونلاحظ كذلك ان المقاومة كانت أكبر من (0%) اي بدون رماد وهذا ما حدث عندما كان المستبدل (رماد القش والنخيل والفحم).



الشكل 2-4 يوضح مقاومات الضغط للمونة للمستبدل رماد القمح

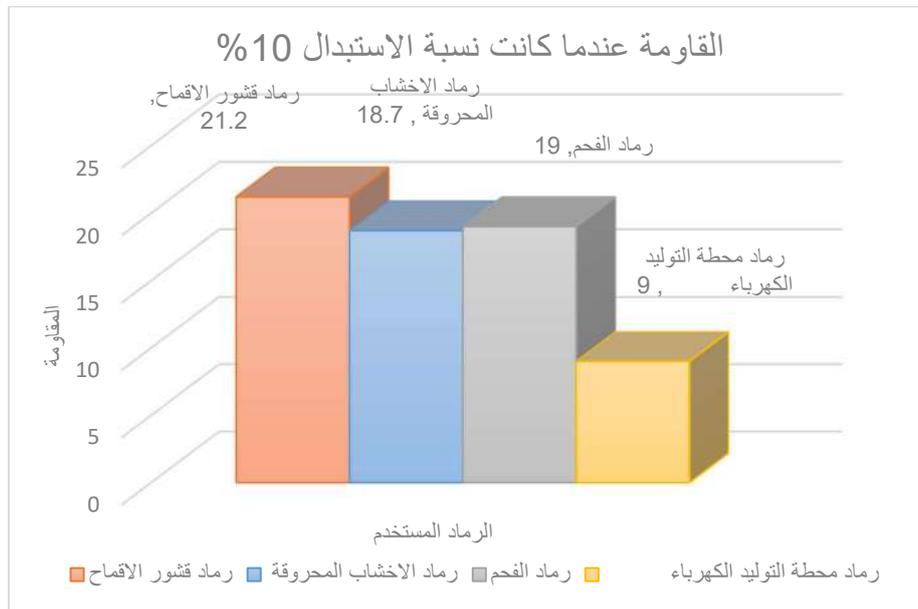


الشكل 2-5 يوضح مقاومات الضغط للمونة للمستبدل رماد الفحم



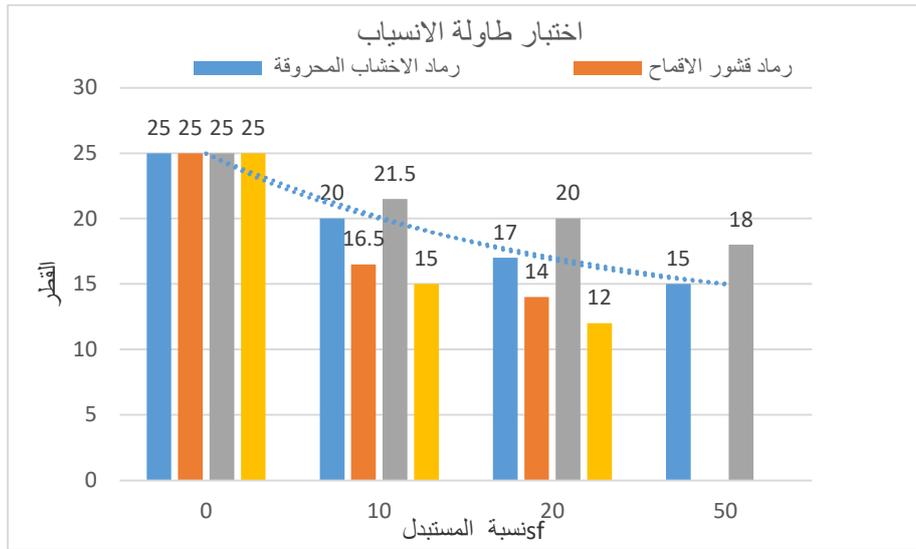
الشكل 2-6 يوضح مقاومات الضغط للمونة للمضاف رماد محطة الطاقة الكهربائية

تقل المقاومة بإضافة هذا النوع من الرماد وذلك بسبب تركيبته الكيميائية التي تؤثر سلبا على المقاومة.



الشكل 2-7 يوضح مقارنة مقاومة الضغط للمونة عند أفضل نسبة استبدال

نلاحظ زيادة في المقاومات حتى 10% من نسبة الاستبدال، وتقل المقاومة بزيادة نسبة الاستبدال، ونلاحظ كذلك ان رماد (النخيل-القش-الفحم) أعطي أكبر مقاومة مقارنة بالأنواع الأخرى من الرماد.



الشكل 2-8 يوضح اختبار طاولة الانسياب للمونة لجميع نسب الاستبدال لمختلف أنواع الرامد

عند دراسة طاولة الانسياب لجميع العينات المستخدمة تبين لنا ان إضافة الرامد يؤدي الى زيادة تماسك العينات والتقليل من سيولتها وتزداد هذه الظاهرة بزيادة كمية المضاف لجميع انواع الرامد المستخدمة بسبب نعومتها وزيادة مساحة سطحه النوعي لزيادة امكانية سحب الماء من الخلطة.

### 3-1 الاستنتاجات:

- 1- إضافة المواد البوزولانا ناتج حرق القمح وبقايا أشجار النخيل يؤدي الى تحسين مواصفات المونة الاسمنتية ويزيد من متانة التصاقها ويمنع فصل مكوناتها مما يؤدي الى تحسين إمكانية استخدامها في اعمال اللياسة والملاط والسرانيك.
- 2- تختلف تأثيرات البوزولانا المستخدمة تبعاً لمصادرها ومكوناتها ودرجة نعومتها.
- 3- تتأثر المقاومات المتأخرة بعد (60) يوم عند إضافة البوزولانا ولا تأثر سلباً في المونة الإسمنتية يمكننا بذلك استبدال كمية من الاسمنت الباهظ الثمن بالبوزولانا والحصول على نفس النتائج في المتانة.
- 4- يعود استخدام البوزولانا بشكل عملي الى توفر المادة ومصادرها وإمكانية صناعتها.
- 5- تأثر إضافة البوزولانا الى المونة الاسمنتية بتخفيض درجة الاماهة خاصة في الأجواء الحارة ويمنع بذلك التشقق الناتج عن فقدان الماء.

### 3-2 الخلاصة:

البوزولانا مادة جيدة بإضافتها للإسمنت وتحسن من مواصفات الاسمنت.

## 3-3 التوصيات:

- 1- نوصي بالدراسة على نسب استبدال اخر مثل: (5- 15) %.
- 2- نوصي كذلك بالدراسة على درجة حرارة الحرق والفترة الزمنية للحرق التي يتحول فيها الرماد الى التركيبة الكيميائية المثالية.

## 1-4 المراجع:

- [1] A R Hariharan, A S Santhi, & G Mohan Ganesh. (2011). Study on Strength Development of High Strength Concrete Containing Fly ash and Silica fume. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST).
- [2] Paramveer Singh, T. S. and G. S. (2016). To Study Strength Characteristics of Concrete with Rice Husk Ash. Indian Journal of Science and Technology, 9(1), 1-5. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i47/105272>
- [3] Feng, Q., Yamamichi, H., Shoya, M., & Sugita, S. (2004). Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment. Cement and Concrete Research, 34(3), 521-526. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.09.005>

## تأثير الفواصل الباردة التطبيقية على سلوك الانحناء للبلاطات

مختار معمر ابوراوي<sup>1\*</sup> ، عبدالرحمن معتوق احمد أبو مسواق<sup>2</sup>

1 أستاذ، الهندسة الإنشائية جامعة المرقب، ليبيا

2 مهندس، كلية الهندسة، جامعة المرقب، ليبيا

\*Mokhtar2025@gmail.com

## المخلص

يمكن أن تحدث الفواصل الباردة لأسباب مختلفة، بما في ذلك التأخير في صب الخرسانة، أو الانقطاعات أثناء البناء، أو تتابع صب الخرسانة في فترات زمنية طويلة، أو الإعداد غير الكافي لسطح الفاصل. حدوث الفواصل الباردة نتيجة لعدم وجود الترابط في المنطقة البينية لمراحل الصب، تؤثر بشكل كبير على المقاومة والمتانة وسلامة الهياكل الخرسانية. كما يمكن أن يؤثر وجود الفواصل الباردة على السلوك الإنشائي للمقاطع الخرسانية تحت الحمل. الفواصل الباردة ربما تكون أحد أسباب تسرب الرطوبة والمواد الكيميائية العدوانية لداخل المقاطع الخرسانية مما يزيد من تآكل حديد التسليح وتدهور وتشظي الخرسانة. تتناول هذه الدراسة تأثير الفواصل الباردة بين طبقات الصب للبلاطات على سلوك الانحناء. وتهدف هذه الورقة دراسة بعض الاقتراحات والحلول لمعالجة هذه المشاكل. لمعرفة الطريقة المثالية لمعالجة هذه المشاكل قبل حدوثها، تم عمل فواصل صب على مسافات مختلفة من سمك البلاطة، وتم معالجتها بطرق مختلفة مع إضافة مواد رابطة متوفرة بالسوق المحلي. تم اعداد وصب ومعالجة بالخيش المبلل لأحدى عشرة بلاطات ذات الاتجاه الواحد من الخرسانة المسلحة بطول 1000 mm وعرض 400 mm وسمك 150 mm. تتلخص نتائج هذه الدراسة بضرورة الممارسة المهنية المناسبة لصب القطاعات الخرسانية، وذلك لتقليل من حدوث وتأثير الفواصل الباردة على سلامة السلوك الإنشائي للهياكل الخرسانية. ويشمل ذلك التخطيط الدقيق وجدولة صب الخرسانة، وضمان التنسيق المناسب بين عمليات الصب المشتركة، وكذلك تنفيذ تقنيات المعالجة المناسبة. والإلتزام بالمعايير والإرشادات التي تعمل على منع أو تقليل من تكوين الفواصل الباردة.

الكلمات الدالة: الفواصل الباردة، البلاطة، الخرسانة، مقاومة الانحناء، المتانة

## المقدمة

التأخير في صب الخرسانة الطازجة على الخرسانة المتصلدة أو المتصلبة جزئياً بسبب تعطل المعدات أثناء الصب أو الخلل في تتابع الصب يؤدي إلى تكوين الفواصل الباردة. التي تؤدي لعدم وجود الترابط المناسب بين طبقات الصب. إضافة الى انه من الممكن أن تؤثر الفواصل الباردة على السلوك الإنشائي للعنصر الخرساني أو الهيكل العام. للتقليل من الآثار السلبية للفواصل الباردة، ينبغي اتباع تقنيات البناء المناسبة. والتي تضمن ترابط طبقات الصب للخرسانة بشكل جيد، والإعداد المناسب للمنطقة البينية المشتركة، واستخدام عوامل الترابط المناسبة أوالمعالجات السطحية المناسبة. يمكن استخدام فواصل البناء في صب الخرسانة، بدلاً من الفواصل الباردة لتوفير انتقال أكثر تحكماً وسليماً من الناحية الهيكلية بين المقاطع الخرسانية. كما تعتبر ممارسات البناء المناسبة ضرورية لتقليل حدوث وتأثير الفواصل الباردة. ويشمل ذلك التخطيط الدقيق وجدولة صب الخرسانة، وضمان التنسيق

المناسب بين أنشطة البناء، وتنفيذ تقنيات المعالجة المناسبة. يمكن أن يساعد الالتزام بهذه المعايير والإرشادات في منع أو تقليل تكوين الفواصل الباردة.

تأثير الفاصل البارد على البلاطات كان عنوان لدراسة تناول فيها الباحث [1] تطوير مفهوم استخدام خرسانة بمقاومتين مختلفتين منخفضة وعالية NSC مع HSC. تناولت هذه الدراسة سلوك الإنحناء للمقاطع المركبة من خرسانة مختلفة المقاومة (HSC/NSC). تم صب الطبقة السفلية بواسطة خرسانة بمقاومة ضغط 25MPa لتقليل التكلفة، وتم صب الطبقة العليا من منطقة الضغط بواسطة خرسانة بمقاومة ضغط 60MPa لتحسين سلوك البلاطات الخرسانية في منطقتي الانحناء والقص. أشارت نتائج الدراسة إنخفاض في مقاومة الإنحناء بسبب فاصل صب بين نوعين من الخرسانة، والتي كانت فيها الفترة الزمنية قصيرة (15 دقيقة و60 دقيقة) بين صب الطبقتين. توصلت هذه الدراسة الى إمكانية صب طبقات خرسانة مختلفة المقاومة بفواصل زمني قصير لا يتجاوز (60 دقيقة) للحصول على سلوك انحناء يتوافق مع الأداء الهيكلي للبلاطات الخرسانية.

تعتبر الفواصل الباردة في الهياكل الخرسانية من المشاكل الرئيسي التي يجب تفاديها، وخاصة في الخرسانة الكتلية، تكون عمليات الصب المتتالية أمراً يصعب تحقيقه. تعد المسافة بين موقع الخلط وموقع الصب أيضاً احد أسباب الفواصل الباردة. تؤثر الفواصل الباردة التي تحدث في الخرسانة بشكل كبير على الأداء الإنشائي والمتانة، لذلك يجب إجراء المزيد من الدراسات حول الأداء الإنشائي والمتانة في وجود الفاصل البارد. الأبحاث التي أجريت على الفواصل الباردة كثيرة، بما في ذلك تأثير وجود الفواصل الباردة على مقاومة الضغط للخرسانة [4]، والتشققات التي تحدث بسبب وجود الفاصل البارد [5-8]، إجهاد القص الناتج عن الفاصل البارد بعد زمن الشك النهائي [6]، وتقييم أداء الترابط في منطقة القص بسبب وجود الفواصل الباردة في الخرسانة [7]، في دراسة بعنوان تأثير الفواصل الباردة واتجاهها على مقاومة الضغط والإنحناء للخرسانة [9]، تم من خلالها تنوع المواد المستخدمة مع الخرسانة العادية والخرسانة ذات المقاومة المبكرة العالية باستخدام الملدنات الفائقة المضافة والخرسانة باستخدام ألياف البولي بروبيلين. كانت الفترة الزمنية بين طبقات الصب (120 دقيقة و240 دقيقة). تم إجراء الإختبارات على مقاومة الضغط ومقاومة الإنحناء للفواصل الباردة في اتجاهين الرأسي والأفقي. أظهرت نتائج الاختبار أن البلاطات ذات الفواصل الباردة في كلا نوعي الخرسانة العادية وخرسانة الالياف أظهرت انخفاض في مقاومة الإنحناء والضغط، بينما في خرسانة الالياف زادت مقاومتها مقارنة بالخرسانة العادية في البلاطات التي بدون فاصل بارد.

نظراً لأن الفواصل الباردة في الخرسانة هي أحد أنواع التشققات في الخرسانة، فقد تؤدي إلى مزيد من تطور التشققات في المستقبل وأيضاً الفشل الهيكلي. تركز هذه الدراسة في المقام الأول على كيفية تأثير مقاومة الخرسانة بسبب الفواصل الباردة وكيف يمكن للمعالجة تعويض خسارة مقاومة الخرسانة. فعندما لا تكتمل عملية صب الخرسانة بشكل متجانس، يمكن رؤية مستويات الفشل على شكل فواصل باردة. كان الإنخفاض في مقاومة الشد والإنحناء أقل في حالة المستوى الأفقي مقارنة بالمستويات الرأسية والقطرية عند تكوين الفاصل البارد [3]. يتم تحديد حجم التأثير أيضاً من خلال موضع الفاصل داخل الهيكل، والوظيفة الهيكلية للعنصر. حيث انخفضت

مقاومة الضغط بنسبة 1.06% ومقاومة الشد بنسبة 3.93% ومقاومة الإنحناء بنسبة 4.02% عند تأخير صب الخرسانة بعد 60 دقيقة مقارنةً بالعينة بدون فواصل.

تم صب الخرسانة الطازجة في قوالب مملوءة بالنصف من أجل إنشاء فواصل باردة أفقية وبعد 0 و 60 و 120 و 180 دقيقة تم صب خرسانة إضافية لتغطية القوالب. تم إخضاع البلاطات لإختبارات الشد والإنحناء، وفي الجزء الثاني من الدراسة تم تحضير نوعين من الخرسانة لإجراء تجارب المتانة. تعرضت البلاطات الخرسانية ذات الفواصل الباردة أو بدونها إلى التجفيف والترطيب والتجميد والذوبان ودرجات حرارة عالية 300 و 600 و 900 درجة مئوية. تم التوصل إلى أن الأسطوانات الخرسانية ذات الفواصل الباردة القطرية أظهرت فقدان مقاومة بنسبة 30% عند تعرضها لحمل الضغط، كما أظهرت الأسطوانات الخرسانية ذات الفواصل الباردة القطرية فقدان مقاومة بنسبة 42% عند تعرضها لمقاومة شد غير مباشر، بينما لم تظهر الأسطوانات ذات الفواصل الأفقية خسارة كبيرة في المقاومة عند تعرضها لحمل ضغط [6]. أما بالنسبة لمتانة الخرسانة فقد لوحظ أن تأثيرات التجفيف - الترطيب والتجميد والذوبان كان لها خسارة كبيرة بسبب الفواصل الباردة [10].

توضح الدراسة [11] تباين مقاومة الخرسانة مع اختلاف أنواع الفواصل الباردة المتكونة أثناء عمليات صب الخرسانة. حيث ان في مشاريع البنية التحتية الكبرى التي تحتوي على أعمال خرسانية ضخمة، لا يمكن إكمال أعمال الخرسانة في يوم واحد. تتم أعمال الخرسانة للبنى التحتية مثل الجسور الرئيسية والسدود على فترات أيام وأسابيع عندما تكون الخرسانة بكميات كبيرة. ليس من الممكن استكمال صب الخرسانة في يوم واحد بسبب الامكانيات البشرية واللوجستية، وعدم توفر المعدات الكافية، وإنتاجية العمالة وظروف الموقع مما يؤدي إلى تكوين فواصل باردة. تركز هذه الدراسة في المقام الأول على كيفية تأثير مقاومة الخرسانة بتكوين الفواصل الباردة وكيف يمكن تحسين تأثير هذه الفواصل في موقع البناء. وقد تم متابعة ورصد نتائج مقاومة الضغط ومقاومة الشد للخرسانة أثناء الإختبار. لقد وجد أن وجود الفاصل البارد يقلل من مقاومة الضغط ومقاومة الشد للخرسانة. كما وجد أن مقاومة الضغط للخرسانة تتخفض بنسبة 22-25% في حالة المكعبات ذات الفواصل الباردة بينما تتخفض مقاومة الشد الغير مباشر بنسبة 23%. كما ركزت الدراسة على استخدام مونة الإسمنت (1:1) والإضافات الكيميائية على الفواصل الباردة، ووجد أن استخدام المونة الإسمنتية قلل من فقد في مقاومة الضغط بنسبة 30.80% في حالة الخرسانة ذات الفواصل الرأسية و 13.82% في حالة مقاومة الشد للإسطوانة، كما أظهرت الإضافات الكيميائية تحسناً في مقاومة الضغط بنسبة 21.50% ومقاومة الشد بنسبة 17.51%. لكن لم يظهر التحسن في مقاومة الضغط للخرسانة ذات الفواصل الأفقية باستخدام الإضافات الكيميائية أو المونة الأسمنتية نتائج مرضية. توصي هذه الدراسة بمعالجة سطح الفواصل الباردة بالمونة الأسمنتية أو الإضافات الكيميائية عند صب الخرسانة بكميات كبيرة لتجنب آثار الفواصل الباردة.

الفاصل البارد الأملس للخرسانة هو مستوى ضعيف ناتج عن انقطاع في عملية الصب. من المعترف به على نطاق واسع أن الصعوبات في الطريقة البناءة للصب للهياكل الخرسانية الكبيرة يمكن أن تنطوي على فواصل باردة تضعف بشكل واضح الأداء الهيكلي، لأنها تقلل من خصائص الإجهاد والإنفعال للنظام [12]. يعتمد تقليل المقاومة

القوى للنظام على عوامل مثل ميل الفاصل البارد، وزمن تكوين الفاصل البارد، والعلاقة بين ميل الفاصل البارد واتجاه حالة الإجهادات [4-12-13]. يمكن أن يؤدي فقدان الخواص الميكانيكية الناجم عن وجود الفواصل الباردة إلى الضرر بالسالمة الهيكلية للمبنى [15]. على الرغم من أن الجوانب المتعلقة بمسألة الفاصل الباردة واضحة تماماً، إلا أنه ليس من الواضح بعد ما هي نسبة انخفاض المقاومة القصوى للخرسانة عندما يكون هناك فاصل بارد، ولا تطورها أثناء زمن الشك. تشير اللوائح في العديد من البلدان إلى أنه إذا كان من الضروري بناء عنصر هيكلي مزود بفواصل باردة، فيجب تنفيذ ذلك بطريقة لا يتداخل معها الإنقطاع مع السلوك الميكانيكي أو الإستقرار. تتم معالجة الفواصل الباردة خلال عملية خاضعة للرقابة في البناء. ومع ذلك، إذا تم العثور على فاصل بارد ولم يكن معروفاً ما إذا كان قد تم تحسينه باستخدام التقنيات المناسبة، فسيتم تقديم نتائج غير مناسبة بسبب عدم اليقين بشأن سلوكه الميكانيكي.

توضح دراسة أجريت بواسطة Torres وآخرون [16] بعنوان السلوك الميكانيكي للفواصل الخرسانية الباردة، حيث أن كلاً من التجارب والتحليل العددي تم إجراؤهما باستخدام فواصل باردة ناعمة. يعتبر الفاصل البارد الأملس هو السيناريو الأسوأ، وبالتالي فهو يحدد الحد الأدنى من القيم التي يجب مراعاتها عند مواجهة تحليل الفاصل البارد ومتى يتم علاجه من عدمه. إن الفاصل البارد الأملس للخرسانة عبارة عن مستوى ضعيف غير معالج ناتج عن انقطاع عملية الصب، مما قد يؤثر بشكل كبير على أداء النظام الهيكلي. في هذا البحث، تم تناول مشكلة توليد الفواصل الباردة من منظورين متكاملين. يتم قياس فقدان المقاومة بسبب حدوث فواصل باردة من خلال برنامج تجريبي مكثف للأسطوانات الخرسانية. (تم اقتراح نموذج تأسيسي وتحليل أدائه لمحاكاة سلوك الخرسانة المعتمد على الوقت تحت الحمل (الزوجة) ولا يوجد تحميل (الإعداد)). أشارت النتائج إلى فقدان للمقاومة يزيد عن 30% للأسطوانات الخرسانية ذات الفواصل الباردة المائلة، بينما الإسطوانات الخرسانية ذات الفواصل الباردة الأفقية لم تفقد أي مقاومة. وبالتالي فإن فقدان المقاومة يعتمد على اتجاه الفاصل البارد بالنسبة لإتجاه الضغوط الرئيسية. ويفسر هذا الجانب من خلال النموذج التأسيسي المقترح من النوع اللزج التفاعلي القادر على محاكاة نتائج البرنامج التجريبي. يفتح هذا العمل إمكانية النمذجة العددية لمشاكل القيمة الحدودية للهياكل ذات الفواصل الباردة ودراسة تأثيرها على الإستقرار العام للهيكلي.

قد تواجه عمليات صب الخرسانة في البلاطات المسطحة وأساسات اللبشة والخرسانة الكتلية تأخيراً في الفترة الزمنية وذلك لعدة أسباب بسبب العديد من الأسباب، مثل خلل في آلة الصب الذي يتسبب في توقف عملية الصب لفترة يمكن أن تنتج فاصل بارد للطبقة. لذلك، فإن معرفة خصائص الإعداد للخرسانة أمر مهم إلى حد ما في مجال البناء الخرساني، حيث سيساعد ذلك في جدولة المراحل المختلفة التي تنطوي عليها عمليات البناء الخرسانية مثل نقل الخرسانة ووضعها ودمكها وإنهائها. وضع الخرسانة هو الانتقال التدريجي من الحالة السائلة إلى الحالة المتصلبة، وتعرف بشك العجينة الاسمنتية إلى حد ما، Neville [17]. الشك النهائي للخرسانة يتعلق بالمرحلة التي تبدأ فيها الاجهادات والصلابة في التطور في الخرسانة الموضوعية حديثاً. التدرج الحراري الأولي عند الشك (التجديد المدمج) له تأثير كبير على الأداء طويل المدى للرصيف الخرساني المفصل Yu وآخرون [18]، قد يتأخر صب الخرسانة من وقت الخلط لأسباب عديدة.

أظهر التحقيق الذي أجراه Ravindrarajah [19] أنه على الرغم من أن التأخير يتسبب في فاقد كبير في قابلية التشغيل، إلا أنه لم يكن هناك تأثير ضار على مقاومة الضغط للخرسانة مع أو بدون خليط مشبط أو مادة ملدنة فائقة. كانت كمية الإضافية للملدن الفائق قادرة على الحفاظ على هبوط الخرسانة خلال تغيير صغير طوال فترة التأخير. كما وجد ان فعالية الملدن الفائق في تحسين قابلية التشغيل لتكون دالة على الهبوط الأولي وعمر الخرسانة الطازجة. يمكن تقدير زمني الشك الابتدائي والنهائي ضمن النطاقات العملية بشرط استخدام علاقة محددة بين الانضاج والشك للخلطات وطاقة التنشيط، Wade [20].

### البرنامج العملي

تم صب بلاطات خرسانية مسلحة على طبقتين بسبك مختلف ومحدد سلفاً، وكان الفارق الزمني بين صب الطبقة الأولى والطبقة الثانية لكل بلاطة هو 24 ساعة. لضمان الحصول على نتائج دقيقة يمكن الإعتماد عليها، فقد تم اختيار المواد الأساسية لتنفيذ البرنامج العملي بدقة وعناية. تم إجراء الاختبارات الأساسية لمكونات الخلطة الخرسانية داخل معمل الخرسانة بكلية الهندسة - جامعة المرقب، وتم اختبار البلاطات لمقاومة الانحناء في نقطتين تحميل في معمل اختبار المواد التابع لمصنع العوارض الخرسانية بإدارة مشروعات السكة الحديدية بمنطقة كعام. أقصى تحميل على البلاطة لا يزيد عن 100 kN، وهو أقصى تحميل يمكن تسليطه بجهاز التحميل. تم اعداد القوالب من خشب الكنتر بطول 1300 mm وعرض 400 mm وسبك 150 mm. للمجموعة الأولى وعددها 5 قوالب (B1 و B2 و B3 و B4 و B5) تم عمل فواصل باردة في منتصف سمك البلاطة، والمجموعة الثانية أيضاً عددها 5 قوالب (C1 و C2 و C3 و C4 و C5) تم عمل فواصل باردة في ثلث وتلثي سمك البلاطة. لكل البلاطات تم صب الطبقة الأولى وبعد 24 ساعة تم صب الطبقة الثانية. البلاطة (A) تمثل البلاطة المرجعية والتي تم صبها بالكامل، والبلاطات (B1 و C1) بدون معالجة لسطح الطبقة الأولى، البلاطات (B2 و C2) تمت معالجة سطح الطبقة الأولى بإضافة عجينة اسمنتية كمادة رابطة بنسبة ماء إلى الأسمنت 0.5، البلاطات (B3 و C3) تمت معالجة سطح الطبقة الأولى بإضافة مادة رابطة كيميائية، البلاطات (B4 و C4) تمت معالجة سطح الطبقة الأولى بعمل خدوش في اتجاه واحد قبل التصلب، البلاطات (B5 و C5) تمت معالجة سطح الطبقة الأولى بعمل خدوش في إتجاهين قبل التصلب. تمت معالجة جميع البلاطات بالرش بالماء 28 يوم للمحافظة على ماء الخلطة الخرسانية لأتمام عملية التفاعل الكيميائي حسب المواصفات (ASTM C31/C31M-15a) [26].

تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي إنتاج مصنع البرج المطابق للمواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسنة 1997م [23]. الركام الناعم تم توريده من محاجر مدينة مصراتة، الوزن النوعي 2.6 ونسبة الامتصاص 0.52% والركام الخشن من منطقة العلووس ببلدية قصر الأخيار، الوزن النوعي 2.7 ونسبة الامتصاص 1.26% ونتائج التحليل المنخلي لكلاهما تقع ضمن حدود المواصفات البريطانية (BS882:1992) [21]. ماء الخلط المستخدم كان ضمن الحدود المسموح بها في المواصفة الليبية رقم 294 لسنة 1988م [24]. حديد التسليح المستخدم بقطر 12 mm في الاتجاهين بإجهاد خضوع 420 MPa من إنتاج مصنع الحديد والصلب بمصراتة

تم تصميم الخلطة الخرسانية وفق المواصفات الأمريكية (91-211.1-ACI)[25]. مكونة من الاسمنت البورتلاندي  $380 \text{ kg/m}^3$  والركام الخشن  $1006 \text{ kg/m}^3$  والركام الناعم  $827 \text{ kg/m}^3$  ونسبة الماء إلى الإسمنت 0.5. مقدار الهبوط 71 mm وهو ضمن قابلية التشغيل التصميمي المسموح للبلاطات (ASTM.C143/C143M- [27]). 15 متوسط نتائج مقاومة الضغط كانت 37 MPa لمكعبات من الخرسانة مقاس  $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ .

### تحليل ومناقشة النتائج

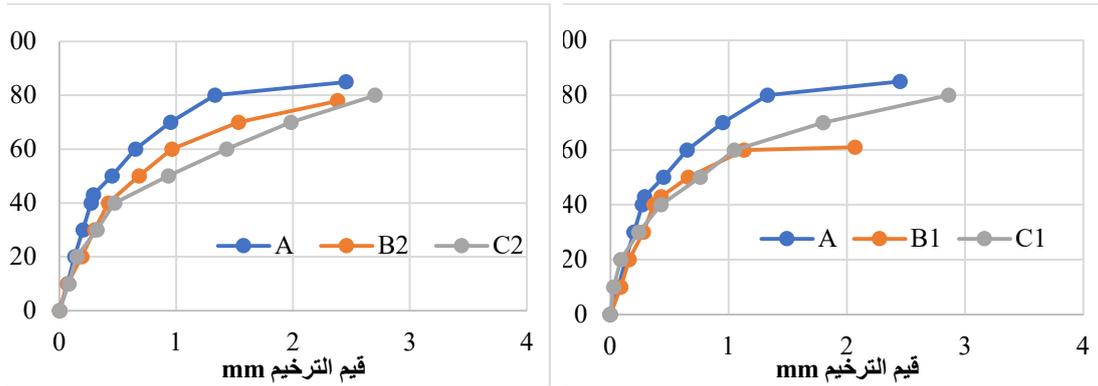
تم اختبار البلاطات بعد 28 يوم من المعالجة بالرش بالماء بجهاز قياس مقاومة الانحناء بتسليط الحمل عند نقطتين حتى مرحلة الإنهيار وكذلك تم قياس عرض وطول التشقق الأول وتتبع التشققات أثناء مراحل التحميل، وكذلك تم قياس الترخيم عند منتصف كل بلاطة، والانفعال في ثلاث مستويات على كامل عمق المقطع في منطقة الضغط. الجدول رقم 1 يبين نتائج حمل الإنهيار والترخيم لكل البلاطات. أظهرت قيم الترخيم تبايناً باختلاف نوع المعالجة ومستوى فاصل الصب عند منتصف أو ثلثي عمق البلاطة بالمقارنة مع القيمة القصوى للتخيم في البلاطة المرجعية. وبشكل عام لم تتجاوز الحدود المسموح بها في المواصفات الأمريكية (ACI 318-08-9.5b) [28].

الاشكال من رقم 1 الى 7 توضح العلاقة بين الترخيم والحمل. الشكل رقم 1 يوضح تأثير مستوى فاصل الصب في البلاطتين (B1 و C1). البلاطتين اظهرت سلوك إنشائي متشابه حتى الوصول الى الحمل 60 kN وفيما بعد اختلف هذا السلوك مع زيادة التحميل. قيم الترخيم النظري اظهر علاقة خطية مع قيم الحمل، والبلاطات A و B1 كانت تشابه الى حد ما العلاقة

جدول 1: نتائج حمل الإنهيار والترخيم

رقم البلاطة	حمل الإنهيار	حمل الإنهيار الحمل المرجعي	حمل الإنهيار الحمل التصميمي	اقصى ترخيم (mm)
A	85.70	1.00	1.07	2.45
B1	61.00	0.71	0.76	2.07
B2	78.00	0.91	0.98	2.38
B3	85.70	1.00	1.07	2.73
B4	86.00	1.00	1.08	3.02
B5	85.50	0.997	1.06	3.73
C1	80.00	0.933	1.00	2.86
C2	80.00	0.933	1.00	2.70
C3	85.51	0.997	1.06	2.66
C4	85.46	0.997	1.06	3.05
C5	85.45	0.997	1.06	2.94

الخطية للترخيم النظري مع الحمل وذلك حتى الحمل 40 kN، وفيما بعد كل منهما أظهرت سلوك مختلف. بشكل عام البلاطة المرجعية أظهرت أكثر صلابة بالمقارنة مع البلاطتين (C1 و B1). الشكل رقم 1 يوضح أفضل علاقة بين الحمل والترخيم بما يحقق قيمة الحمل المقاوم للانحناء ومستوى المرونة العالية في قيمة الترخيم قبل الانهيار. الشكل 2 توضح تأثير مكان فاصل الصب على السلوك الإنشائي حيث بينت نتائج العلاقة بين الحمل والترخيم فروقات جوهرية بين المجموعتين ربما السبب يرجع الى الانفصال الأفقي عند مستوى الفاصل البارد في البلاطات التي يكون فيها الفاصل عند ثلث العمق من اعلى.

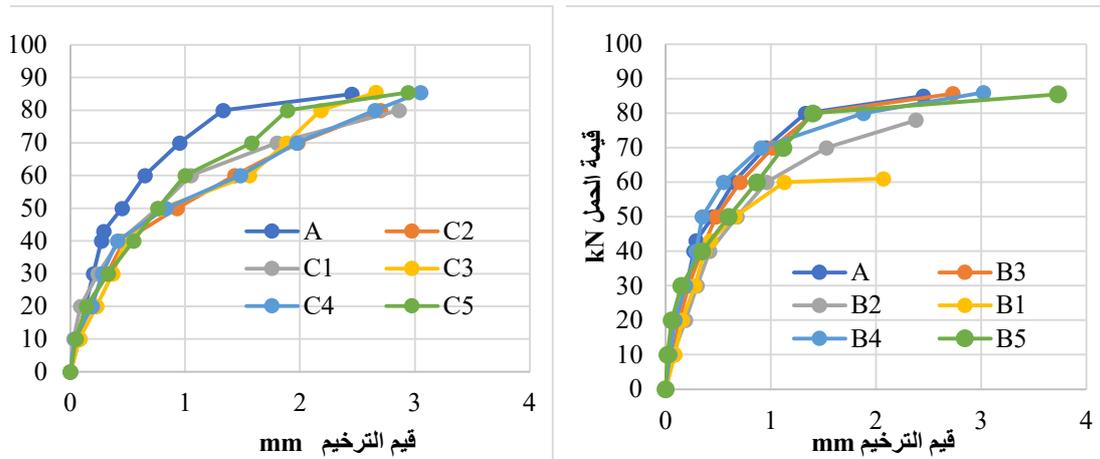


شكل 1: تأثير مستوى فاصل الصب وبدون أي معالجة على الترخيم

شكل 2: تأثير مستوى فاصل الصب المعالج بمادة رابطة (أسمنت وماء) على الترخيم

الشكلين رقم 3 ورقم 4 يوضحا تأثير نوع معالجة سطح فاصل الصب على الترخيم. الشكلين رقم 3 يبين هذا التأثير على البلاطات التي يكون فيها فاصل الصب عند منتصف عمق البلاطة، حيث أظهرت البلاطة (B1) التي لم يتم معالجة سطح فاصل الصب بها أسوأ النتائج بالنسبة للترخيم وقيمة حمل الإنهيار بالمقارنة مع البلاطة المرجعية وباقي البلاطات. البلاطة (B2) والتي تمت معالجة فاصل الصب بها بإضافة مادة رابطة (اسمنت وماء) وصلت لحمل إنهيار قدره 78 kN وأقصى ترخيم 2.38 mm. قيم الترخيم لهذه البلاطة كانت متقاربة مع قيم ترخيم البلاطة المرجعية (A) حتى الوصول الي الحمل 40 kN، ومن ثم تفاوتت قيم النتائج حتى لحظة إنهيار البلاطة. بينما معالجة فاصل الصب بإضافة مادة رابطة كيميائية بالنسبة للبلاطة (B3) فحققت حمل انهيار قدره 85.7 kN وأقصى ترخيم 2.73 mm. معالجة فاصل الصب للبلاطة (B4) بعمل خدوش في اتجاه واحد والبلاطة (B5) خدوش في الاتجاهين على سطح الطبقة الأولى قبل تصلبها. البلاطة (B4) والبلاطة (B5) سجلت كل منها تقريبا نفس حمل الانهيار في البلاطة (B3)، بينما أقصى ترخيم كان البلاطة (B4) والبلاطة (B5) 3.02 mm و 3.73 mm على التوالي.

الشكل رقم 4 يوضح تأثير نوع معالجة سطح فاصل الصب الموجود عند ثلث عمق البلاطة من اعلي على الترخيم، حيث ان البلاطة (C4) والتي تم معالجة سطح فاصل الصب بها بعمل خدوش في اتجاه واحد للطبقة الأولى. حققت البلاطة C4 قيمة لحمل الانهيار 85.45 kN وهي متقارب جدا بما حققتة البلاطة (C5) والتي تم معالجة سطح فاصل الصب بها بعمل خدوش في اتجاهين للطبقة الأولى بينما قيمة الترخيم للبلاطة C4 كان 3.05 mm وهو الأعلى بالمقارنة مع قيمة الترخيم للبلاطة C5، ومن تم تفاوتت قيم الترخيم حتى لحظة الإنهيار لكلاهما. وبشكل عام كان سلوكهما مشابه للبلاطة المرجعية حتى وصول الحمل الى 40 kN و60 kN على التوالي.



شكل 3: تأثير نوع معالجة سطح فاصل الصب عند منتصف عمق البلاطة على الترخيم  
شكل 4: تأثير نوع معالجة سطح فاصل الصب عند ثلثي عمق البلاطة من أسفل على الترخيم

الجدول رقم 2 يبين ان جميع البلاطات حققت قيم ترخيم أعلى من قيمة الترخيم القصوى للبلاطة المرجعية باستثناء البلاطتين (B1 و B2) حيث كان أيضا حمل الانهيار فيهما اقل من البلاطة المرجعية. كل البلاطات عند وصولها لحمل الانهيار حدث بها انفصال افقي على مستوى فاصل الصب، ما عدا البلاطات (B3 و B5 و C5). بالنسبة للبلاطة (B3) يرجع السبب الى فاعلية معالجة سطح فاصل الصب بإضافة مادة رابطة كيميائية بين طبقتي الصب، في البلاطتين (B5 و C5) تم معالجة سطح فاصل الصب بهما بتخديش الطبقة الأولى لهما في الاتجاهين قبل التصلب. بلاطات المجموعة الثانية C عند وصولها لحمل الإنهيار تتفصل الطبقة العليا أي اعلي فاصل الصب شبه كلياً عن الطبقة الأولى والسبب يرجع الى ضعف منطقة الضغط اعلي مستوي فاصل الصب.

الجدول 2: خواص التشقق الأول لجميع البلاطات

حالة الانهيار	حمل الانهيار (kN)	مكان التشققات	عدد التشققات	التشقق الأول			رقم البلاطة
				العرض (mm)	الطول (mm)	حمل ظهور أول تشقق (kN)	
مفاجئ في منطقة القص	85.70	منطقة الانحناء	8	0.03	3.50	43	<b>A</b>
استطالي في منطقة الانحناء	61.00	منطقة الانحناء	12	0.03	2.80	44	<b>B1</b>
استطالي في منطقة الانحناء	78.00	منطقة الانحناء	6	0.02	2.40	40	<b>B2</b>
استطالي في منطقة الانحناء	85.70	منطقة الانحناء	6	0.02	2.10	40	<b>B3</b>
مفاجئ ومصاحب بانفصال في منطقة القص	86.00	منطقة الانحناء	6	0.02	3.40	40	<b>B4</b>
مفاجئ في منطقة القص	85.50	منطقة الانحناء	5	0.02	6.80	40	<b>B5</b>
مفاجئ ومصاحب بانفصال كلي في منطقة القص	80.00	منطقة الانحناء	6	0.02	4.00	40	<b>C1</b>
مفاجئ ومصاحب بانفصال جزئي في منطقة القص	80.00	منطقة الانحناء	12	0.02	4.70	30	<b>C2</b>
مفاجئ ومصاحب بانفصال كلي في منطقة القص	85.51			0.02	2.00	40	<b>C3</b>
مفاجئ ومصاحب بانفصال كلي في منطقة القص	85.46			0.02	2.00	30	<b>C4</b>
مفاجئ في منطقة القص	85.45			0.02	5.30	30	<b>C5</b>

الصور الفوتوغرافية الموضحة في الأشكال رقم 5 إلى 15 توضح حالات الإنهيار لجميع البلاطات. حمل الإنهيار المفاجئ في منطقة القص للبلاطة المرجعية (A) حدث عند الحمل 85.7 kN وصاحبه ظهور عدد 8 تشققات، كلها عمودية وانحصر انتشارها في منطقة الإنحناء وبشكل متماثل. الجدول رقم 2 يبين ملخص لخواص التشقق الأول لجميع البلاطات. يتراوح حمل التشقق الأول في جميع البلاطات من 30 إلى 44 kN، ويعرض يتراوح ما بين 0.02 إلى 0.03 mm، وطول من 2.0 إلى 6.8 mm. بالنسبة لبلاطات المجموعة الأولى والمجموعة

الثانية ظهر التشقق الاول وسجل حمل حقق نسبة 95% ونسبة 79% من قيمة حمل التشقق الاول للبلاطة المرجعية على التوالي، بينما عرض التشقق شبه متقارب جدا لكل البلاطات، مع وجود اختلاف في طول التشقق حسب حالة المعالجة لفواصل الصب من عدمها.



شكل 5: الانهيار للبلاطة المرجعية (A)



شكل 7: الانهيار للبلاطة (B1)



شكل 6: الانهيار للبلاطة (C1)



شكل 9: الانهيار للبلاطة (B2)



شكل 8: الانهيار للبلاطة (C2)



شكل 11: الانهيار للبلاطة (B3)



شكل 10: الانهيار للبلاطة (C3)



شكل 13: الانهيار للبلاطة (B4)



شكل 12: الانهيار للبلاطة (C4)

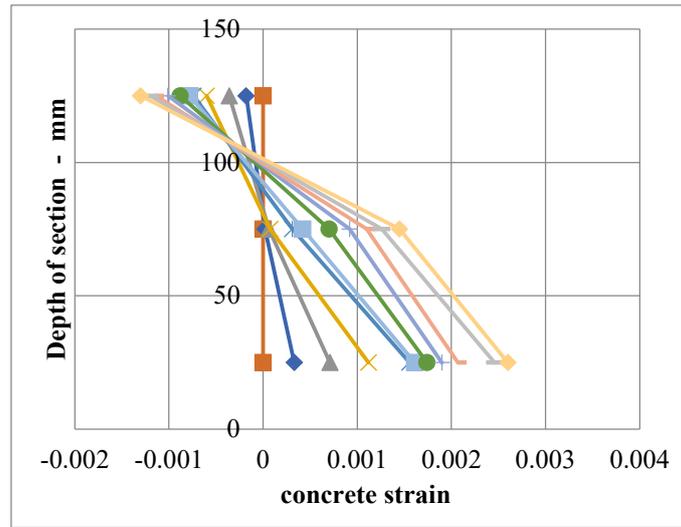


شكل 15: الانهيار للبلاطة (B5)

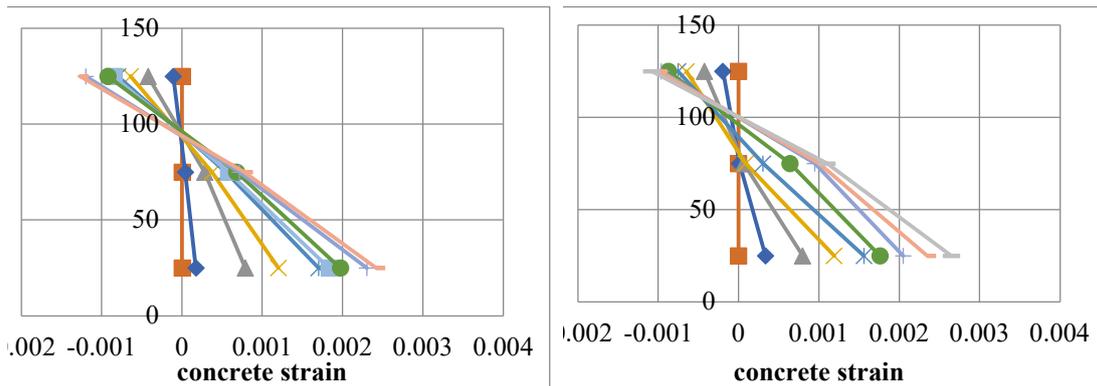


شكل 14: الانهيار للبلاطة (C5)

الاشكال من رقم 16 الى 18 توضح ان جميع البلطات لم تتجاوز الحدود المسموح بها للانفعال في منطقة الضغط بالنسبة للخرسانة 0.003 وفقاً للكود الأمريكي ACI 318-19. كما ان الإنفعال بالنسبة لحديد التسليح في منطقة الشد لم يتجاوز الحدود المسموح بها 0.005 للحديد في منطقة الشد. بإفتراض أن هناك ترابط تام بين الحديد والخرسانة فتعتبر نتيجة الإنفعال للخرسانة هي نفسها للحديد، ونوصي مستقبلاً بقياس الإنفعال في الحديد مباشرةً في منطقة الشد.



شكل 16: مخطط الانفعال للبلاطة المرجعية A



شكل 18: مخطط الانفعال للبلاطة B1

شكل 17: مخطط الانفعال للبلاطة C1

## الخلاصة

1. بينت الدراسة ان هناك تأثير ملحوظ في جميع البلاطات التي يكون فيها فاصل الصب عند ثلثي العمق من اعلى على حالة الانهيار المفاجئ بسبب الانفصال عند الفاصل في منطقة القص مما كا له أيضا تأثير على مقاومة الانحناء وقيم الترخيم.
2. جميع البلاطات لم تتجاوز الحدود المسموح بها للانفعال في منطقة الضغط بالنسبة للخرسانة 0.003 وفقاً للكوود الأمريكي ACI 318-19. كما ان الإنفعال بالنسبة لحديد التسليح في منطقة الشد ايضا لم يتجاوز الحدود المسموح بها 0.005 للحديد في منطقة الشد. بإفتراض أن هناك ترابط تام بين الحديد والخرسانة فتعتبر نتيجة الإنفعال للخرسانة هي نفسها للحديد، ونوصي مستقبلاً بقياس الإنفعال في الحديد

مباشرةً في منطقة الشد.

3. تبين نتائج الدراسة بان لا يقل وجود فاصل الصب البارد عند ضرورة منتصف عمق البلاطة من اعلي، وأن تتم معالجة سطحه بإستخدام مادة رابطة كيميائية ذات جودة عالية أو تخديش سطح فاصل الصب البارد في الإتجاهين من بداية زمن الشك النهائي للأسمنت للحصول على أداء أفضل للبلاطة.

### 3.5 المراجع

1. Tarek Aly, Sameh Yehia, Ahmed Mohamed Abd Elkhalek, Osama Hassaan, "Effect of Cold Joint on Stratified Slabs," International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 9 Issue 07, July- 2020
2. H. A. Mohamadien, N. Alle, and S. Ravindrarajah, "the Impact of the Time When Casting the Second Layer of Concrete on Its Mechanical Properties," vol. 41, no. 3, pp. 919-929, 2013.
3. V. R. Rathi and P. K. Kolase, "Effect of cold joint on strength of concrete." Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol., vol. 2, no. 9, pp. 4671-4679, 2013.
4. Rathi, V. R., and Kolase. P. K., "Effect of Cold Joint on the strength of Concrete." International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology, Vol. 29, 2013, pp. 4671-4679.
5. Kishen, J. M. C., and Rao, P. S., "Fracture of Cold Jointed Concrete Interfaces," Engineering Fracture Mechanics, vol. 74, 2007, pp. 122-131.
6. Torres, A., Ramos-Canon, A., Prada-Sarmiento, F., and Botia-Diaz, M., "Mechanical Behaviour of Concrete Cold Joints," Revista Ingenieria de Construction, vol. 31, 2016, pp. 151-162
7. Lee, H., Jang, H., and Cho, H., "Evaluation of Bonding Shear Performance of Ultra-High- Performance Concrete with Increase in Delay in Formation of Cold Joints," Materials, vol. 9, 2016, pp. 3621-3630.
8. Tayfur, S., Alver, N., Turan, Z., and Cakir, O. A., "Fracture Characteristics of Cold Jointed Concrete Identified by Acoustic Emission Technique," Fifth conference on Smart Building Assessment and Rehabilitation of Civil Structures, 2019, pp. 1-8.
9. Berkat Cipta Zega, Hakas Prayuda, Fanny Monika, Fadillawaty Saleh and Dian Eksana Wibowo, "Effect of Cold Joint and Its Direction on The Compressive

- and Flexural Strength of Concrete.” International Journal of GEOMATE · June 2021.
10. Kara IB. Experimental Investigation of the Effect of Cold Joint on Strength and Durability of Concrete. Arabian Journal for Science and Engineering, February 2021.
  11. Dipesh Ligal, Nirmal Prasad Baral, Hare Ram Timalsina, Prabin Banstola, “An Experimental Study on Strength of Concrete Due to Cold Joints”, Journal of Advanced Research in Geo Sciences & Remote Sensing, 2021; 8(3&4).
  12. Harsem T. (2005), Diseño de estructuras de concreto armado, p. 50, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú
  13. Wall J. y Shrive N.(1988), Factors affecting bond between new and old concrete. ACI Materials Journal, 85, (2), 117–125.
  14. Tapkire G. y Kumavat H. (2015), Effects of time laps affects the compressive strength of cement. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering Volume–4 Issue–10.
  15. Volz J. y Olson C. (2008), Are they pour lines or cold joints, Assessment and repair of concrete structure. En 23rd International Convention & Trade Show (pp. 26–33). Phoenix: Banville, M.
  16. Torres, A. Ramos–Cañón, F. Prada–Sarmiento, M. Botía–Díaz, “Mechanical behavior of concrete cold joints.” Revista Ingenerate de Construction Vol 31 N°3 Diciembre de 2016
  17. M., Neville, 'Properties of concrete', 4th Edn, (John Wiley and Sons, Incorporated, New York, 1996).
  18. Yu, H.T., Khazanovich, L., Darter, M.I., and Ardani, A., 'Analysis of concrete pavement responses to temperature and wheel loads measured from instrumented slabs', Transportation Research Record 1639 (1998), 94–101.
  19. R. Sri Ravindrarajah, May, (1985) “Casting delay on workability and strength of concrete”, International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 7, Issue 2, Pages 109–113
  20. S. A. Wade, J. M. Nixon, A. K. Schindler (2010) “Effect of Temperature on the Setting Behavior of Concrete” journal of Materials in Civil Engineering, pp. 214–222 .

21. BS882:1992، Specification for Aggregats from Natural Sources for Concrete، British Institution، 389 Chiswik high road ،London، W4 4Al،UK،1996.
22. المواصفة القياسية الليبية رقم 49 لركام الخرسانة من المصادر الطبيعية ، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية ، 2002.
23. المواصفة القياسية الليبية رقم 340 للإسمنت البورتلندي ، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية ، 1997 .
24. المواصفة القياسية الليبية رقم 294 للمياه المستعملة في الخرسانة، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية ، 1988
25. ACI، A.211.1-Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight، and Mass Concrete،2009.
26. ASTM،C.31/C31M-15a، Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field.West Conshohocken،PA: American Society for Testing and Materials،2015.
27. ASTM،ASTM. C143/C143M-15-Standard Test Method for Slump of Hydraulic -Cement Concrete.USA: ASTM International،2015.
28. ACI Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-08)، American concrete Insistute ، 2008.

## تأثير الانضاج المبكر على بعض خواص الخرسانة ذاتية الدمك

مختار معمر ابوراوي\* 1 ومحمد صالح القرقي 2

1 أستاذ، الهندسة الإنشائية جامعة المرقب، ليبيا

2 مهندس، كلية الهندسة، جامعة المرقب، ليبيا

Mokhtar2025@gmail.com\*

## الملخص

الخرسانة ذاتية الدمك SCC هي خرسانة انسيابية ذاتية الدمك بدون استخدام الهزازات عند الصب والدمك. إنها قادرة على التدفق تحت الوزن الذاتي، وتعمل على ملء القالب بالكامل وتحقيق الدمك الكامل، حتى في حالة وجود التسليح المكثف. استخدام اساليب مختلفة لمعالجة الخرسانة لغرض الحصول على المقاومة المستهدفة قبل 28 يوم من الصب باستخدام المعجلات كإضافات كيميائية والتي ربما يكون لها تأثير عكسي على الصحة والبيئة. كما ان استخدام الخرسانة بدون إضافات أصبح غير مألوف في صناعة الخرسانة لما لها من تحسين في بعض الخواص، وخاصة فيما يتعلق بالانسيابية التي تجعل الخرسانة أكثر فاعلية عند الصب في القوالب المزدهمة بحديد التسليح. هذه الدراسة محاولة لاستخدام طرق الانضاج المبكر للخرسانة ذاتية الدمك للحصول على المقاومة المبكرة بدون استخدام المعجلات. للحصول على نتائج للمقارنة تم إعداد وخلط وصب 200 مكعب و50 موشور، لعينات من نوعين خرسانة عادية وخرسانة ذاتية الدمك ولكلا النوعين تم معرفة معامل الدمك وقياس الكثافة المفككة والكثافة المدموكة للخرسانة، تم معالجة العينات بطرق مختلفة لمعرفة تأثير الانضاج المبكر على بعض الخواص الميكانيكية الأساسية في حالتها المتصلبة مقاومة الضغط ومقاومة الانحناء ومقاومة الشد غير المباشر للخرسانة ذاتية الدمك. تلخصت الدراسة الى ان طريقة التعجيل  $82^{\circ}\text{C}$  حققت نتائج مقاومة ضغط أعلى من المتحصل عليها بالمعالجة عند  $55^{\circ}\text{C}$ ، بينما نتائج مقاومة الانحناء والقصر غير المباشر كانت متقاربة لكلا الطريقتين. كما ان طرق تعجيل الانضاج من الممكن ان تكون مؤشر لمعرفة مقاومة الضغط للخرسانة في زمن قصير جدا وبنسبة تتجاوز 70% للخرسانة العادية و80% للخرسانة ذاتية الدمك من مقاومة الضغط للعينات المعالجة بالغمر في الماء عند 28 يوم.

الكلمات الدالة: الخرسانة ذاتية الدمك، الانضاج المبكر، مقاومة الضغط، القص غير المباشر، مقاومة الانحناء.

## المقدمة

ترجع الزيادة في المقاومة مع زيادة درجة حرارة المعالجة إلى تسريع التفاعلات الكيميائية للإماهة، تؤثر هذه الزيادة على المقاومة المبكرة فقط دون تأثير على المقاومة النهائية، وبالتالي يمكن تعجيل معالجة الخرسانة وكسب قوتها عن طريق رفع درجة حرارة المعالجة، وبالتالي تقليل فترة المعالجة. هذا النوع من المعالجة يسمى المعالجة المعجلة له العديد من التطبيقات في تصنيع منتجات الخرسانة الجاهزة. التسخين يقلل من الرطوبة النسبية بالخرسانة. وبالتالي يجب اضافة الرطوبة الى الهواء الساخن للحفاظ على نفس الرطوبة النسبية في الهواء. إذا لم يتم الحفاظ

على الرطوبة الكافية في بيئة المعالجة، الخرسانة لن تحقق الحد الأقصى لمقاومة الضغط، وقد تحدث تشققات. بالإضافة الى ان متانة الخرسانة قد تتخفف ايضا بسبب عدم كفاية اماهة المواد الاسمنتية. ثلاثة طرق للتسخين شائع استخدامها لتعجيل المعالجة.

- تدفق البخار أو الهواء الساخن مباشرة في غرفة المعالجة بوضع وسيلة التسخين بالاتصال المباشر مع الخرسانة.
- تقريب انابيب البخار او الماء الساخن من الخرسانة بالحمل الحراري والاشعاع.
- ربط الأسلاك الكهربائية المقاومة بالقوالب وتغطيتها مع العزل الحراري لعرفة تسخين القوالب المعالجة بالبخار والهواء الساخن.

تدوير البخار حول الخرسانة هو احدى طرق المعالجة المعجلة الاكثر استخدام، لسهولة انتاج ونقل البخار للعناصر الخرسانة سابقة الاجهاد أو مسبقة الصنع، أنها طريقة فعالة لزيادة درجة الحرارة والمحافظة على الرطوبة النسبية 100% حول الخرسانة. البخار يمكن انتاجه في الغلايات ذات الضغط العالي او المنخفض، ثم اصاله الى أرضية الصب، او انشاؤها بواسطة حزم بخار أصغر تقع بالقرب من الخرسانة. ميزة البخار انه يحتوي على كميات كبيرة نسبيا من الحرارة للكيلو جرام الواحد من البخار عند درجة حرارة منخفضة نسبيا. هذا يوفر الوسيلة الفعالة والاقتصادية لنقل التسخين من الغلايات للخرسانة. درجة الحرارة الداخلية يمكن ايضا زيادتها بتسخين الهواء وتصريف ذلك مباشرة في بيئة المعالجة. وهناك مشكلتان مع هذا النوع من النظام. اولاً غازات العادم من سخانات الوقود الاحفوري تحتوي على ثاني اكسيد الكربون المتحد مع هيدروكسيد الكالسيوم، نتيجة ثانوية لإماهة الاسمنت، تتكون كربونات الكالسيوم ضعيفة بدلا من هيدرات سيليكات الكالسيوم القوية. هذا ينتج مسحوق ابيض على سطح الخرسانة. ثانياً انخفاض الرطوبة في الهواء يسمح بتجفيف سطح الخرسانة وظهور التشققات.

طريقة الغمر بالماء درجة حرارته 20 درجة مئوية، وطريقة الماء الساخن بدرجة حرارة 80 درجة مئوية وطريقة الماء المغلي. ثلاثة طرق الإنضاج استخدمها **Dr. Ghalib Mohsin Habeeb, 2016** في دراسة قام بها حيث حققت طريقة الإنضاج المعجل بالماء الساخن أفضل قيم لمقاومة الضغط للخرسانة التي تحتوي على الإسمنت المقاوم للأملاح وبنسبة استبدال 3% غبار النانو سليكا وفي جميع الأعمار، كما تشير نتائج مقاومة الضغط أن طريقة المعالجة بالماء الساخن لها قيم أعلى من استخدام طريقة الماء المغلي لنفس الخليط في عمر معين [1].

قام الباحث **T.R. Neelakantan, S. 2013** في دراسة سابقة بمعالجة العينات الخرسانية على مرحلتين، في البداية في درجة حرارة الغرفة  $20 \pm$  لمدة أقصاها 30 ساعة، ثم في درجة حرارة أعلى لتعجيل معالجة بالتوصيل او التسخين الاشعاعي لمدة أقصاها 3 ساعات، وفي حالة المعالجة بالتوصيل يتم الحفاظ على درجة الحرارة ثابتة في حوض المعالجة واستخدمت هذه الطريقة 3 درجات حرارة مختلفة 55C0 و 65 C0 و 75 C0 وفي حالة المعالجة بالتسخين الاشعاعي تم استخدام فرن الميكروويف وفي هذه الطريقة بدلا من استخدام درجات الحرارة تم استخدام القوة الكهربائية w. واستخدمت هذه الطريقة 4 قوة كهربائية مختلفة وهي 360 و 540 و 720 و 900 وات. وباستخدام المقاومة المبكرة التي تم الحصول عليها بعد المعالجة على مرحلتين، قام بتطوير معادلات للتنبؤ

بمقاومة الضغط للخرسانة عند 28 يوم. كما تبين الدراسة أن عملية التسخين بالتوصيل *conduction heating* أظهرت نتائج أفضل بالمقارنة مع المعالجة بالتسخين الإشعاعي [2].

باستخدام طرق المعالجة المعجلة التي أوصت بها الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد قام الباحث **V.Ramakrishnan 2008** بدراسة عملية لتطوير معادلات تقدير المقاومة المحتملة للخرسانة عند 28 يوم، حيث تم اختبار عينات اسطوانية لعدد 21 مجموعة مختلفة من الخرسانة، وكانت المتغيرات المتضمنة في هذه الدراسة استخدام ثلاث أنواع مختلفة من الاسمنت 1 و 2 و K، وأنواع مختلفة من القوالب الحديد والبلستيك والكرتون، نسب *w/c* تتراوح من 0.41 إلى 0.72، ونسب الركام إلى الإسمنت تتراوح من 2.5 إلى 4.1 والحد الأقصى لحجم الركام الخشن 25 mm، ومقاومة الضغط المستهدفة عند 28 يوم تتراوح ما بين 23.5 إلى 46.9 MPa. خلصت هذه الدراسة إلى نتائج مختلف تبين أوجه الاختلافات في القيم نتيجة إلى تعدد المتغيرات المستهدفة في هذه الدراسة، كما قدم الباحث معادلات على أساس مفهوم الإنضاج المبكر للتنبؤ بمقاومة الخرسانة للضغط عند زمن معين بمعرفة نسبة *w/c* ومدة ودرجة حرارة المعالجة [3].

استخدام نسب مختلفة من *w/c* ومنحنى التفاعل المتطور لمقاومة الخرسانة للضغط المعتادة لمدة 7 أيام و 28 يوم ومقاومة الخرسانة للضغط لعينات الاسمنت البورتلاندي العادي بالمعالجة بطريقة التعجيل للإنضاج المبكر، من الممكن ان العينات المصنعة بالإسمنت البورتلاندي العادي وبالمعالجة المعجلة للإنضاج المبكر ان تعطي مقاومة اعلى مقارنة بمقاومة العينات المعالجة العادية. بهذه الطريقة سنساهم في تقليل فترة المعالجة والحصول على مقاومة اعلى في فترة زمنية قصيرة. في دراسة مقترحة من قبل الباحث **N.L. SHELKE 2013** على المقارنة الفعالة باستخدام درجة حرارة الماء المرتفعة لمعالجة الخرسانة للحصول على المقاومة المتوقعة للخرسانة في المراحل المبكرة، وأشارت نتائج هذه الدراسة إلى أن مقاومة الضغط بطريقة تعجيل المعالجة كانت أعلى من مقاومة الضغط للعينات المعالجة بالطريقة التقليدية [4]. بطريقة التعجيل، توصلت دراسة أخرى لنفس النتائج، حيث أن العينات المعالجة المعجلة حققت مقاومة أعلى مقارنة بمقاومة العينات المعالجة العادية بالإسمنت البورتلاندي العادي [5]. قام بها الباحث **V.V.Arora** بالتنبؤ المبكر بمقاومة الضغط المتوقع عند 28 يوم، باستخدام نظام المعالجة المعجلة عند درجة حرارة 82 و 90 درجة مئوية لمدة 7.5 ساعة و 20 ساعة على التوالي، اكدت نتائج هذه الدراسة إمكانية اعتماد نظام المعالجة بالحرارة المرتفعة أي 90 درجة مئوية لمدة 7.5 ساعة للتنبؤ بمقاومة الضغط المتوقعة عند 28 يوم [6].

تناولت دراسة قام بها الباحث **Thomas norman** تعجيل المعالجة لاختبار مقاومة الضغط، حيث قارن تأثير تعجيل المعالجة بواسطة غلي الماء وتسخين الخرسانة في الفرن مع استخدام أنواع مختلفة من الاسمنت البورتلاندي وأنواع مختلفة من الركام. في هذه الدراسة استخدمت طريقتين الأولى المعالجة بغليان الماء لمدة سبعة ساعات، والثانية الطريقة المعدلة معالجة المكعبات بشكل طبيعي لمدة 24 ساعة، أظهرت الدراسة أن نتائج العينات المعالجة أن النتائج تعتمد على خصائص الفرن المستخدم وحجم المكعبات المعالجة في وقت واحد [7].

قام الباحث **R.S. Al Rawi 2011** بدراسة عينات خرسانية معرضة إلى معالجة معجلة من أجل الحصول على الجزء الأكبر من مقاومتها النهائية خلال فترة زمنية تتراوح ما بين يوم ويومين بالاعتماد على الطريقة المعجلة. اعتمدت هذه الدراسة على ثلاثة طرق للمعالجة المعجلة وهي طريقة الماء الدافئ وطريقة التعجيل الذاتي والطريقة

المقترحة من قبل الباحث. أظهرت النتائج علاقة جيدة بين المقاومة المعجلة وخاصة الطريقة المقترحة مع 7 و 28 يوم للخرسانة المعالجة اعتياديا لخمسة أنواع أسمنت مختلفة التركيب الكيميائي ولنسبة ماء إلى أسمنت 0.45 و 0.55 و 0.65 و 0.75 [8].

تناولت دراسة للباحث **V. Jayadevan 2014** تقنيات تعجيل المعالجة لتصميم الخلطات الخرسانية حيث تم تعجيل المقاومة في هذا البحث وفقا لمواصفة الأيزو رقم: IS 9013 الصادرة سنة 1978م والمعدلة سنة 2004م، في هذه الدراسة تم تقييم العينات على أساس 9 مكعبات بنفس w/c، متوسط 3 مكعبات لـ 7-28 يوم وكذلك متوسط 3 مكعبات لتحديد طريقة تعجيل المعالجة، تم تصميم 3 خلطات باستخدام أنواع مختلفة من الاسمنت، وكذلك الاختلاف في خواص الركام الناعم ونوع الإضافات ومقدار الهبوط slump في كل خلطة، وقد أعطت الدراسات التي أجريت نتائج مشجعة تماما من أجل الاعتماد على تقنيات المعالجة السريعة التي اقترحها مكتب المعايير الهندية لتطوير واقتراح معادلة ارتباط جديدة [9].

استخدم الباحث **Kalyanasundaram P** طريقتين لتعجيل معالجة الخرسانة للنتبؤ بمقاومة الضغط، الطريقتين تعتمدان على الطريقة البريطانية المعدلة للتعجيل طريقة 55C0 والطريقة الكندية المعدلة للتعجيل بالغلجان 100C0. تم اختبار العينات ذات مقاومة تتراوح بين 15 إلى 60MPa، تظهر نتائج الاختبار ارتباط التحليل الخطي، حيث أن الاختبار المعجل باستخدام معالجة الماء الساخن لمدة ثلاث ساعات ونصف عند درجة حرارة 85 درجة مئوية للطريقة الكندية المعدلة. خلصت الدراسة بأن الطريقة الكندية المعدلة أعطت نتائج أفضل للنتبؤ وقريبة جدا من قيم مقاومة الضغط عند 28 يوم بالمقارنة مع الطريقة البريطانية المعدلة [10].

### البرنامج العملي

استخدم الإسمنت البورتلاندي العادي من إنتاج مصنع المرقب للإسمنت الخمس، وخواصه الفيزيائية مطابقة للمواصفات البريطانية [11] BS882: Part 103.2, 1992. الركام الناعم تم توريده من محاجر مدينة زليتين، الوزن النوعي 2.6 نسبة المواد الناعمة 2.55% والركام الخشن من منطقة العلوص ببلدية قصر الأخيار، الوزن النوعي 2.7 ونسبة الامتصاص 1.26% ونتائج التحليل المنخلي لكلاهما تقع ضمن حدود المواصفات البريطانية BS882: Part103.2, 1992. ماء الخلط المستخدم كان ضمن الحدود المسموح بها في المواصفة الليبية رقم 294 لسنة 2002م [12]. تم استخدام مركب كيميائي كملدن فائق للحصول على خرسانة ذاتية الدمك، حيث تم صب 70% من ماء الخلط للمكونات الجافة للخلطة الخرسانية وخط الملدن مع المتبقي من ماء الخلط وإضافته للخلطة الخرسانية.

تم تصميم الخلطة الخرسانية وفق المواصفات الأمريكية 91-211.1 ACI [13]. مكونة من الاسمنت البورتلاندي 450 kg/m<sup>3</sup> والركام الخشن 898 kg/m<sup>3</sup> والركام الناعم 898 kg/m<sup>3</sup> ونسبة الماء إلى الإسمنت 0.4 والملدن 6.3 lit/m<sup>3</sup>.

تم دراسة ثلاث خواص أساسية للخرسانة ذاتية الدمك وهي قابلية الانسياب وقدرة الخرسانة على العبور خلال العوائق والقوالب ذات المقاطع المختلفة الأبعاد وقابليتها على الاستواء الذاتي. وكما نلاحظ بالجدول رقم 1 أن

جميع الخلطات كانت ضمن حدود دليل استخدام الخرسانة ذاتية الدمك مواصفات EFNARC [14]. حيث أشار دليل وتوصيات EFNARC بأن أدنى قيمة لاختبار انسياب الهبوط هي 650 mm وأعلى قيمة هي 800 mm، وأدنى قيمة زمنية لاختبار T<sub>50</sub> هي 2 ثانية وأعلى قيمة زمنية هي 5 ثواني وأدنى قيمة في اختبار J-Ring هي 0 وأعلى قيمة هي 10 mm، بينما اختبار L-Box أوصت أن أدنى قيمة للنسبة بين H<sub>2</sub>/H<sub>1</sub> هي 0.8 وأعلى نسبة هي 1.1 [14].

الجدول 1: نتائج الخواص الانسيابية للخلطات الخرسانية

L-Box Test H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	J-Ring Test mm	T <sub>50</sub> sec	Slump Flow mm	W/C	نسبة الملدن من وزن الاسمنت %	رقم الخلطة
1	2	2.05	760	0.4	1.4	Ref
0.95	2	2.52	753		1.4	Mix1
0.92	4	2.73	747		1.4	Mix2
0.9	6	2.9	738		1.4	Mix3
0.8	0	2	650	أقل قيمة	توصيات EFNARC <sup>[20]</sup>	
1.0	10	5	800	أعلى قيمة		

بشكل عام تستهدف عمليات المعالجة وقاية الخرسانة من الجفاف المبكر ولتحقيق مقاومة ضغط وديمومة عالية، حيث تسخين الماء في خزانات المعالجة مصممة بطريقة تعتمد على التدوير بواسطة التيارات الحرارية لضمان توزيع الحرارة في جميع أنحاء الخزان دون الحاجة إلى محرك ميكانيكي، وخزانات المعالجة مزودة بغطاء ومصنعة من مواد جيدة ومقاومة للتآكل، ومثبت عليها عدادات لضبط درجة حرارة ورطوبة الماء. تم استخدام خزانات بأبعاد داخلية مناسبة لعدد وحجم عينات الاختبار المستهدفة. كما يجب أن توضع العينات محاطة بالماء على الأقل 30 mm من جميع الجهات وخاصة فوق مصدر التسخين [15].

تمت معالجة العينات المرجعية بالغمر في الماء، بعد فكها من القوالب ووضعها في أحواض ماء وبدرجة حرارة الغرفة من 22 إلى 27 درجة مئوية حسب المواصفات المعتمدة حتى تاريخ الاختبار أي بعد 7 أيام و28 يوم من تاريخ صبها. أما بالنسبة للعينات المعالجة بطرق الانضاج المبكر فقد تم استخدام طريقتين للتسخين بالماء لدرجة حرارة 55°C و 82°C حسب المواصفات البريطانية. تم تصنيع حوض المعالجة بما يتوافق مع المواصفات البريطانية BS 1881: Part 112:1983 [16] بأبعاد 250×800×800 mm مصنع من الواح الحديد بسبك 1.5 mm، تم وضع حوض المعالجة على ارتفاع 200 mm من سطح الأرض، وتم تزويده برأسين سخان كهربائي. تم تغطية الحوض أثناء المعالجة للحفاظ على درجات حرارة الماء والرطوبة خلال المعالجة 55°C و 82°C درجة، تم اختبار العينات لمقاومة الضغط بعد 25 و 17 ساعة على التوالي من زمن الصب.

تم اختبار مكعبات قياسية للحصول على مقاومة الضغط للخرسانة والذي تم وفق المواصفات البريطانية [17]BS 1881: Part 116:1983. وتم إجراء اختبار الانحناء على موشور بأبعاد  $400 \times 100 \times 100$  mm، وفق المواصفات البريطانية [18]BS 1881: Part 118:1983. كما تم إجراء اختبار الشد غير المباشر الطريقة البرازيلية على عينات أسطوانية أبعادها  $300 \times 150$  mm، وفق المواصفات البريطانية [19]BS 1881: Part 117:1983 .

### مناقشة النتائج

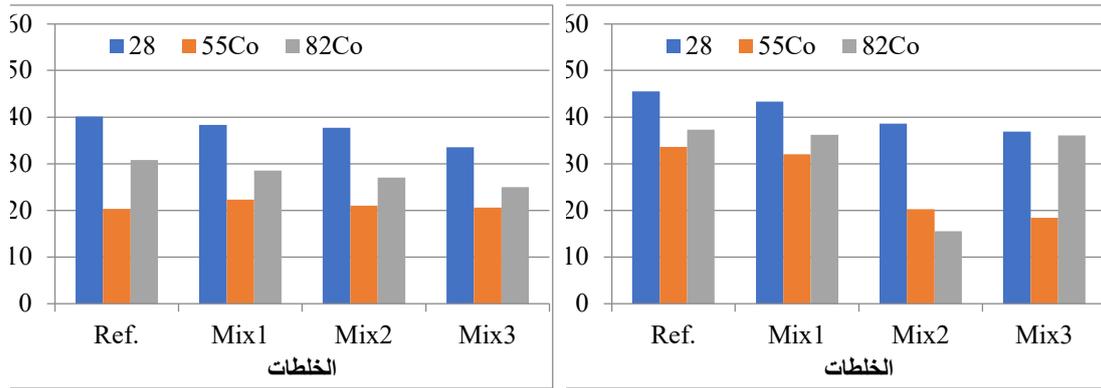
الجدول رقم 2 والجدول رقم 3 تبين نتائج مقاومة الضغط للخرسانة ذاتية الدمك والعادية لحالات المعالجة المختلفة على التوالي. الشكل رقم 1 والشكل رقم 2 توضح تأثير المعالجة المعجلة على مقاومة الضغط للخرسانة ذاتية الدمك والعادية على التوالي. من خلال الشكل رقم 1 نلاحظ ان مقاومة الضغط للخرسانة ذاتية الدمك للخلطة Ref عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 81% و 73.9% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة الضغط للخرسانة ذاتية الدمك للخلطة Mix1 عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 83% و 73.9% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة الضغط للخرسانة ذاتية الدمك للخلطة Mix2 عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 40.2% و 52.4% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة الضغط للخرسانة ذاتية الدمك للخلطة Mix3 عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 97% و 49.9% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم. من خلال الشكل رقم 2 نلاحظ ان مقاومة الضغط للخرسانة العادية للخلطة Ref عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 76% و 50.7% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة الضغط للخرسانة العادية للخلطة Mix1 عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 74% و 59% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة الضغط للخرسانة العادية للخلطة Mix2 عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 71% و 55.7% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة الضغط للخرسانة العادية للخلطة Mix3 عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 74% و 61% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم. من خلال هذه النتائج نلاحظ ان طريقة المعالجة  $82C^{\circ}$  حققت نتائج مقاومة ضغط اعلى من المتحصل عليها بواسطة المعالجة  $55C^{\circ}$ ، كما ان نتائج التي حققتها طريقة المعالجة  $82C^{\circ}$  قريبة من نتائج المعالجة عند 28 يوم .

الجدول 2: نتائج مقاومة الضغط للخرسانة ذاتية الدمك لحالات المعالجة المختلفة

82C <sup>0</sup> /17h		55C <sup>0</sup> /25H		المعالجة 28 يوم MPa	الخلطة
النسبة من 28 يوم	MPa	النسبة من 28 يوم	MPa		
%81.9	37.3	%73.8	33.6	45.5	Ref
%83.6	36.2	% 73.9	32.01	43.3	Mix1
%40.1	15.5	%52.4	20.23	38.6	Mix2
%97.7	36.08	%49.8	18.39	36.9	Mix3

الجدول 3: نتائج مقاومة الضغط للخرسانة العادية لحالات المعالجة المختلفة

82C0 /17h		55C0 /25H		المعالجة 28 يوم MPa	الخلطة
النسبة من 28 يوم	MPa	النسبة من 28 يوم	MPa		
%76.8	30.8	%50.6	20.3	40.1	Ref
%47.4	28.5	%59	22.6	38.3	Mix1
% 71.6	27	% 55.7	21.0	37.7	Mix2
% 74.6	25	% 61.6	20.6	33.5	Mix3



شكل 1: تأثير المعالجة المعجلة على مقاومة الضغط للخرسانة ذاتية الدمك

شكل 2: تأثير المعالجة المعجلة على مقاومة الضغط للخرسانة العادية

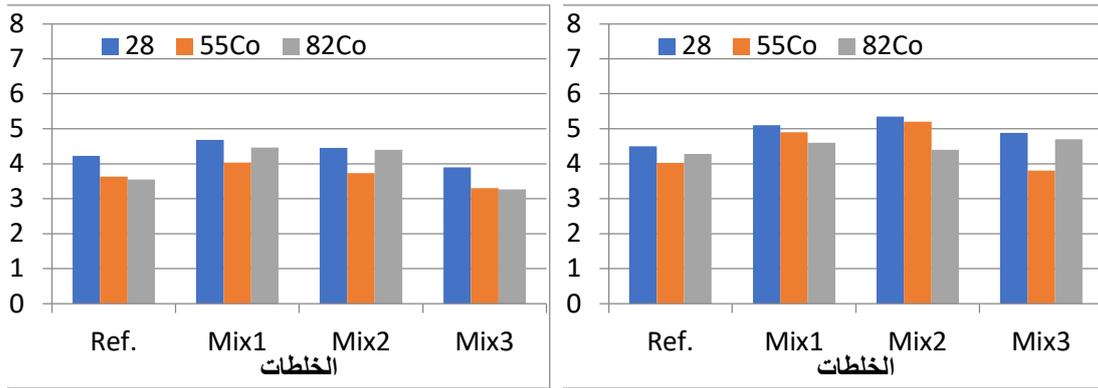
الجدول رقم 4 والجدول رقم 5 تبين نتائج مقاومة الانحناء للخرسانة ذاتية الدمك والعادية لحالات المعالجة المختلفة على التوالي. الشكل رقم 3 والشكل رقم 4 توضحا تأثير المعالجة المعجلة على مقاومة الانحناء للخرسانة ذاتية الدمك والعادية على التوالي. من خلال الشكل رقم 3 نلاحظ ان مقاومة الانحناء للخرسانة ذاتية الدمك للخلطة Ref عند المعالجة بتعجيل  $82^{\circ}\text{C}$  و  $55^{\circ}\text{C}$  تعادل حوالي 95% و 89% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة الانحناء للخرسانة ذاتية الدمك للخلطة Mix1 عند المعالجة بتعجيل  $82^{\circ}\text{C}$  و  $55^{\circ}\text{C}$  تعادل حوالي 90% و 97% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة الانحناء للخرسانة ذاتية الدمك للخلطة Mix2 عند المعالجة بتعجيل  $82^{\circ}\text{C}$  و  $55^{\circ}\text{C}$  تعادل حوالي 83% و 97% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28، ومقاومة الانحناء للخرسانة ذاتية الدمك للخلطة Mix3 عند المعالجة بتعجيل  $82^{\circ}\text{C}$  و  $55^{\circ}\text{C}$  تعادل حوالي 97% و 78% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم. من خلال الشكل رقم 4 نلاحظ ان مقاومة الانحناء للخرسانة العادية للخلطة Ref عند المعالجة بتعجيل  $82^{\circ}\text{C}$  و  $55^{\circ}\text{C}$  تعادل حوالي 84% و 86% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة الانحناء للخرسانة العادية للخلطة Mix1 عند المعالجة بتعجيل  $82^{\circ}\text{C}$  و  $55^{\circ}\text{C}$  تعادل حوالي 95% و 86% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة الانحناء للخرسانة العادية للخلطة Mix2 عند المعالجة بتعجيل  $82^{\circ}\text{C}$  و  $55^{\circ}\text{C}$  تعادل حوالي 98% و 83% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة الانحناء للخرسانة العادية للخلطة Mix3 عند المعالجة بتعجيل  $82^{\circ}\text{C}$  و  $55^{\circ}\text{C}$  تعادل حوالي 83% و 84% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم.

الجدول 4: نتائج مقاومة الانحناء للخرسانة ذاتية الدمك لحالات المعالجة المختلفة

82C <sup>0</sup> /17h		55C <sup>0</sup> /25H		المعالجة 28 يوم MPa	الخلطة
النسبة من 28 يوم	MPa	النسبة من 28 يوم	MPa		
%95.1	4.28	%89.3	4.02	4.50	Ref
%90.7	4.63	%97.2	4.96	5.10	Mix1
%83.7	4.48	%97.1	5.2	5.35	Mix2
%97.3	4.75	%78.6	3.84	4.88	Mix3

الجدول 5: نتائج مقاومة الانحناء للخرسانة العادية لحالات المعالجة المختلفة

82C <sup>0</sup> /17h		55C <sup>0</sup> /25H		المعالجة 28 يوم MPa	الخلطة
النسبة من 28 يوم	MPa	النسبة من 28 يوم	MPa		
%84.1	3.55	%86.01	3.63	4.22	Ref
%95.2	4.46	%86.1	4.03	4.68	Mix1
%98.8	4.4	%83.8	3.73	4.45	Mix2
%83.8	3.27	%84.6	3.3	3.9	Mix3



شكل 3: تأثير المعالجة المعجلة على

شكل 4: تأثير المعالجة المعجلة على

مقاومة الانحناء للخرسانة ذاتية الدمك

مقاومة الانحناء للخرسانة العادية

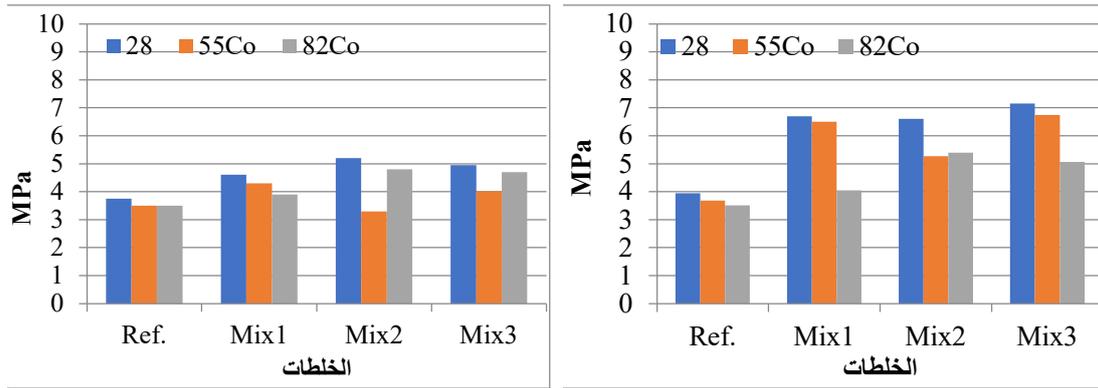
الجدول رقم 6 والجدول رقم 7 تبين نتائج اختبار مقاومة القص غير المباشر للخرسانة ذاتية الدمك والعادية لحالات المعالجة المختلفة على التوالي. الشكل رقم 5 والشكل رقم 6 توضحا تأثير المعالجة المعجلة على مقاومة القص غير المباشر للخرسانة ذاتية الدمك والعادية على التوالي. من خلال الشكل 5 نلاحظ ان مقاومة القص غير المباشر للخرسانة ذاتية الدمك للخلطة Ref عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 88% و 93% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة القص غير المباشر للخرسانة ذاتية الدمك للخلطة Mix1 عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 62% و 97.01% من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة القص غير المباشر للخرسانة ذاتية الدمك للخلطة Mix2 عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 81.7% و 79.8% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة القص غير المباشر للخرسانة ذاتية الدمك للخلطة Mix3 عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 70.8% و 94.3% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم. من خلال الشكل 6 نلاحظ ان ومقاومة القص غير المباشر للخرسانة العادية للخلطة المرجعية Ref عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 94.7% و 94.2% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة القص غير المباشر للخرسانة العادية للخلطة Mix1 عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 85.7% و 94.4% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة القص غير المباشر للخرسانة العادية للخلطة Mix2 عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 93% و 64% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم، ومقاومة القص غير المباشر للخرسانة العادية للخلطة Mix3 عند المعالجة بتعجيل  $82C^{\circ}$  و  $55C^{\circ}$  تعادل حوالي 94% و 81.1% على التوالي من مقاومة الخرسانة المعالجة عند 28 يوم.

الجدول 6: نتائج مقاومة القص غير المباشر للخرسانة ذاتية الدمك لحالات المعالجة المختلفة

82C <sup>0</sup> /17h		55C <sup>0</sup> /25H		المعالجة 28 يوم MPa	الخلطة
النسبة من 28 يوم	MPa	النسبة من 28 يوم	MPa		
%88.8	3.51	%93.1	3.68	3.95	Ref
%62.3	4.05	%103	6.5	6.7	Mix1
%81.6	5.40	%79.7	5.27	6.61	Mix2
%70.7	5.06	%94.2	6.74	7.15	Mix3

الجدول 7: نتائج مقاومة القص غير المباشر للخرسانة العادية لحالات المعالجة المختلفة

82C <sup>0</sup> /17h		55C <sup>0</sup> /25H		المعالجة 28 يوم MPa	الخلطة
النسبة من 28 يوم	MPa	النسبة من 28 يوم	MPa		
%94.6	3.55	%94.1	3.53	3.75	Ref
%85.6	3.95	%94.3	4.35	4.61	Mix1
%93.8	4.88	%64.2	3.34	5.20	Mix2
%94.9	4.70	%81.0	4.01	4.95	Mix3



شكل 5: تأثير المعالجة المعجلة على مقاومة القص غير المباشر للخرسانة ذاتية الدمك  
شكل 6: تأثير المعالجة المعجلة على مقاومة القص غير المباشر للخرسانة العادية

#### الاستنتاجات

1. حققت طريقة التعجيل  $82C^{\circ}$  نتائج مقاومة ضغط أعلى من المتحصل عليها بالمعالجة عند  $55C^{\circ}$ ، بينما نتائج مقاومة الانحناء والقص غير المباشر في طريقتي الإنضاج بتعجيل  $55C^{\circ}$  و  $82C^{\circ}$  كانت متقاربة نوعاً ما.
2. أعطت طرق تعجيل الإنضاج مؤشر لمعرفة مقاومة الضغط للخرسانة في زمن قصير جداً وبنسبة تتجاوز 70% للخرسانة العادية و80% للخرسانة ذاتية الدمك من مقاومة الضغط للعينات المعالجة بالغمر في الماء عند 28 يوم، هذا يؤدي الى معرفة المقاومة في زمن قصير جداً مما يساعد على سرعة التنفيذ دون الحاجة للانتظار لمعرفة مقاومة الضغط.

#### المراجع

1. Habeeb G. M. & Ghali Z. A., "Effect of Accelerated Curing on Compressive Strength of High Strength concrete with Nano-Silica", In civil engineering. Babylon University, Iraq. November 2016.
2. Neelakantan T.R., Ramasundaram S., Shanmugavel R. & Vinoth R., "Prediction of 28-day Compressive Strength of Concrete from Early Strength and Accelerated Curing Parameters", International Journal of Engineering and Technology, Vol 5 No 2, pp. 1197-1201. School of Civil Engineering, SASTRA University, Thanjavur, India. Apr-May 2013.

3. Ramakrishnan V. & Dietz J., "Accelerated Methods of Estimating the Strength of Concrete", South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City; and Chicago Bridge and Iron Company. pp. 29-44, 2008.
4. Shelke N.L.& Sangeeta G., "Prediction of compressive Strength of Concrete Using Accelerated Curing", International Journal of Pure and Applied Research in Engineering and Technology A Path for Horizing Your Innovative Work. IJPRET, Volume 1(8), pp.90-99. April 2013.
5. Zain El-Abdin R., Rafia H. A. & Zainab H. M., "Some Properties of Carbon Fiber Reinforced Magnetic Reactive Powder Concrete Containing Nano Silica", Journal of Engineering Number 8 Volume 22, pp. 103-125. August 2016.
6. Arora V.V., Suresh K. & Manish K. M., "Development of Accelerated Mix Design Method for Concrete Using PPC or OPC With Fly Ash", National Council for Cement and Building Materials, India.
7. Thomas N. W. A., "The Accelerated Curing of Concrete Test Cubes", Proceedings of the Institution of Civil Engineers E-ISSN 1753-7789, Volume 19 Issue 1, MAY 1961, pp. 1-22, Published Online: June 17, 2015
8. Al Rawi R.S. Abdul-Hameed F. F. & Abbas Z. K., "Estimation The 7 And 28 Day Normal Compressive Strength", By Journal of Engineering, Number 6 Volume 17, PP. 1426-1443, December 2011.
9. Jayadevan V., Valsalakumary V.R. & Sufeera O.B., "Reliability of Accelerated Curing Techniques for Speedy Design of Concrete Mixes An Appraisal of IS 9013:1978 Code", The Indian Concrete Journal, pp. 57-60. February 2014.
10. Kalyanasundaram P. & Kurien V. J., "Accelerated Testing for Prediction of 28-Day Strength of Concrete", Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology. Madras and Department of Civil Engineering, Region Engineering College Kozhikode, India pp. 77-86.
11. British Standards Institution "BSI" Testing aggregates, Part103.2 "Method for determination of particle size distribution" 1992.
12. المواصفات القياسية الليبية رقم (294)، المياه المستخدمة في الخرسانة، لسنة 2002
13. ACI Committee 211 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91), 2002.

14. EFNARC 2002 "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete", February 2002
15. Design and Control of Concrete Mixtures, by Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, and William C, 14th edition. Panarese, PCA. USA (2003).
16. British Standards Institution "BSI" Testing concrete, Part 112. Testing concrete. Methods of accelerated curing of test cubes", BS 1881-112:1983
17. British Standards Institution "BSI", Testing concrete, Part 116. Method for determination of compressive strength of concrete cubes. Amendment No. 1 published and effective from 31 July 1989 to BS 1881: Part 116: 1983.
18. British Standards Institution "BSI", Testing concrete, Part 118. Method for determination of Flexural strength. Amendment No. 1 published and effective from 31 July 1989 to BS 1881: Part 118: 1983.
19. British Standards Institution "BSI", Testing concrete, Part 117. Method for determination of tensile splitting strength. Amendment No. 1 published and effective from 31 July 1989 to BS 1881: Part 117: 1983.

## تشغيلية ومقاومة الضغط للخرسانة بإستبدال جزئي للإسمنت بمسحوق الرخام

أ.د إبراهيم محمد الحاج الفههي<sup>1</sup> أ.د صلاح الدين الساعدي<sup>2</sup> أ. حمزة علي إبراهيم الصحرابي<sup>3</sup> أ. سالم سعد عامر<sup>4</sup>

1,2,3 عضو هيئة تدريس بكلية الهندسة جامعة بني وليد، ليبيا

جهاز تنفيذ مشروعات الإسكان والمرافق - ليبيا<sup>4</sup>

ibrahimlahaj@bwu.edu.ly1

### الملخص

الإسمنت يمثل العنصر الأكثر تكلفة، حيث أن عملية صناعته تمر بعدة مراحل من إستخراج وتكسير ووطن وغيرها، وكل هذه المراحل تستهلك كما هائلا من الطاقة فضلا عن إنبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون الملوث الرئيسي للبيئة، لذا ومن منطلق الحفاظ على البيئة فإن إستعمال مواد بديلة عن الإسمنت تساعد بدورها في تقليل كلفة إنتاج الخلطة الخرسانية وتحسين من خواصها في الحالة اللدنة والمتصلدة، لا سيما إذا كانت هذه المواد البديلة غير مكلفة مثل مخلفات مصانع الرخام (WMP) التي تلقى في المكبات مسببة أضرار للبيئة.

وفي هذه الدراسة تم إستخدام مسحوق مخلفات الرخام كبديلا جزئيا عن الإسمنت بنسب مختلفة 0% - 5% - 10% - 15% - 20% من وزن الاسمنت في الخلطة ، وبنسبة ماء الى الاسمنت 0.4 - 0.45 - 0.5 للوصول الى المقاومة المستهدفة ميجا باسكال 42 عند 28 يوم حيث تم تصميم الخلطة بالطريقة الحجمية وقد تم تنفيذ عدد 135 قوالب مكعبة بأبعاد (150\*150\*150) تمت دراسة الخواص اللدنة والمتصلدة والتي أجريت في موعد ( 7 - 14 - 28 )يوم وتبين أنه يمكن الإستفادة من (WMP) في إنتاج الخرسانة وبالتالي تقليل نسبة الإسمنت في الخلطة، حيث أظهرت نتائج الإختبارات التي أجريت على الخرسانة أن مقاومة الضغط عند 28 يوم للعينات بنسب استبدال 0%، 5%، 10%، 15%، 20% مع نسبة ماء إلى الإسمنت 0.4 كانت (37-34.4-31-27.7-23) نيوتن/ملم<sup>2</sup> ، ومع نسبة ماء إلى الإسمنت 0.45 كانت النتائج(36.4-35-32.7-31) نيوتن/ملم<sup>2</sup>، ومع نسبة ماء إلى الإسمنت 0.5 كانت(43.5-42.2-40.3-39.7-37.1) نيوتن/ملم<sup>2</sup> ، حيث كانت أفضل نسبة إحلال لمسحوق الرخام بدل الإسمنت هي 5% و10% وتبين أنه عند زيادة نسبة مسحوق مخلفات الرخام فإنه يؤثر بشكل سلبي على مقاومة الضغط حيث يضعف من قيمتها مقارنة بالمقاومة المرجعية.

الكلمات الدالة: الإسمنت، مسحوق الرخام، تشغيلية، مقاومة ضغط.

### 1. المقدمة

تحتوي عملية تصنيع الرخام من عمليات قص ونشر وتهذيب وتسوية سطوح في معامل الرخام ينتج عنها نفايات كثيرة ومختلفة الحجم، كما تصدر إنبعاثات كثيفة من الغبار أثناء عمليات القص ليتم التخلص منها برميها بشكل عشوائي مسببة مشكلات بيئية وصحية كثيرة، ولذلك تسعى العديد من دول العالم إلى التخلص من تلك المخلفات بشكل بيئي وحضري والإستفادة منها وذلك من خلال توظيفها في صناعة البناء.

**1.1 مشكلة الدراسة**

نشأت فكرة إعادة تدوير وإستعمال مسحوق مخلفات الرخام كبديل جزئي للإسمنت في إنتاج الخرسانة وكيفية التخلص من المخلفات الرخام والتي أصبحت توجه عالمي يحظى بإهتمام بالغ وخاصة في الدول المتقدمة، لما له من دور كبير في توفر المواد الخام لإنتاج خرسانة جيدة وصديقة للبيئة وتقليل إستهلاك الطاقة والتلوث البيئي.

**2.1 أهداف الدراسة**

- بيان تأثير الاستبدال الجزئي للأسمنت بمسحوق الرخام علي خصائص الخرسانة
- إيجاد النسبة المثلى للإستبدال الجزئي للإسمنت بمسحوق الرخام في الخرسانة التي تعطي أقصى قوة للخرسانة .
- إعطاء التوصيات المناسبة عند استخدام مسحوق الرخام في أعمال الخرسانة.

**3.1 المتغيرات في الدراسة**

- نسب إستبدال مسحوق الرخام (0%,5%,10%,15%,20%)
- إختبار مقاومة الضغط (7,14,28) يوم
- نسبة الماء الى الاسمنت (0.4,0.45,0.5)

**2. مادة الرخام**

يُعتبر الرخام من المواد الصناعيّة التي تُستخدم في التّشطيبات المتعلّقة بتغطية الحوائط والأرضيات في المنازل ونحوها، حيث إنّهُ من المواد الصلّبة عالية التحمّل، لذلك يُمكننا تعريف الرخام بأنّه صخر كلسي متحوّل، يتألف من الكالسيت النقي، والذي يُستخدم في البناء. ويتم تنفيذ عملية استخراج الأحجار الرخامية من أجل إنتاج الألواح والبلاط، والتي تستخدم على نطاق واسع في صناعات البناء والأرضيات والجدران عالية الجودة.

أثناء عملية تحويل رواسب الحجر في الموقع إلى المنتج النهائي يتم إنتاج كمية كبيرة من النفايات في كل من موقع المنجم ومصنع المعالجة والتلميع. وتنتج النفايات على مرحلتين:

الأولى في شكل شظايا وكتل بدون شكل منتظم والتي ليس لها قيمة تجارية،

والثانية على شكل مسحوق ناعم أثناء قطع الحجر في الموقع وإنتاج الألواح والبلاط المصقول من كتل ذات حجم تجاري



الشكل (2) الطين الناتج عن عمليات النشر والتلميع على الألواح (الطين المجفف بالترشيح بالهواء).



الشكل (1) الكتل غير منتظمة الشكل الناتجة عن العمليات في المحاجر.

### 3. الخرسانة

#### تأثير المواد الناعمة على قوام الخلطة الخرسانية.

يقصد بقوام الخرسانة هو عبارة عن درجة البلل في الخرسانة، ويعبر أيضا عن النسبة بين كمية ماء الخلط وكمية المواد الجافة بالخرسانة وخواص هذه المواد، حيث بعض خواص هذه المواد لها تأثير مباشر على خواص الخرسانة بحالتها الطرية او المتصلدة. والغرض من تحديد قوام الخرسانة هو ضمان الحصول على خرسانة ذات سيولة ولدونة مناسبة للقيام بالأعمال الخرسانية المختلفة، ويعتبر القوام من أهم وأبسط الخواص التي يمكن للمهندس أن يأخذ منها إنطبعا على تجانس الخلطة الخرسانية الطازجة وتحديد كفاءتها وجودتها.

تبين الدراسات السابقة ان الهبوط يزداد بزيادة المحتوى المائي في الخلطة، أو بزيادة نسبة الإسمنت أو بانخفاض نسبة الركام الناعم للخشن، ومن ناحية أخرى يقل الهبوط في درجات الحرارة المرتفعة وعندما تكون المواد الناعمة مرتفعة بسبب الزيادة في المساحة السطحية للحبيبات، كذلك مسامية الركام الخشن تعمل على زيادة الامتصاص مما يقلل الماء اللازم لعملية التميؤ.

### 3.2. كلفة الخرسانة

أن تقليل تكلفة المشاريع الهندسية أصبح أحد أهم القضايا التي تشغل المهندسين والمقاولين على حدٍ سواء، وهو ما أدى إلى ظهور أنماط غير تقليدية في البناء مثل أنظمة البناء السريع والتي تستخدم فيها تكنولوجيا تضمن لها القوة والمتانة والديمومة فضلاً عن مقاومة العوامل البيئية على اختلاف أنواعها، بالإضافة إلى مواد البناء البديلة ذات التكلفة القليلة والتي تحافظ على الجودة المطلوبة (1).

في صناعة البناء والتشييد يتم دائما البحث عن طرق تكون قادرة على المنافسة وذلك بتقديم الأفضل والأقل كلفة، إرتفاع تكلفة مواد البناء وبخاصة الإسمنت قد فرضت استخدام حلول بناء جديدة توفر الكلفة وتساعد في سرعة الإنجاز معاً، وذلك للتغلب على الخسائر بسبب استخدام المواد أو الطرق التقليدية في البناء

هناك عدة طرق لتقليل كلفة الخرسانة منها (7).

- ضمان إدارة الوقت بكفاءة من خلال التخطيط السليم للموارد، وجدولة التطوير وتوفير المعلومات الشاملة.
- إتاحة الوقت الكافي لدراسات الجدوى والتصاميم والتخطيط.
- اختيار عمالة ذات خبرة وتوفير احتياجاتهم وتوفير بيئة مناسبة للتعامل الجيد بين المقاولين والعمال.
- إحلال مواد بديلة عن الإسمنت واستخدام المواد معادة الصنع مثل نواتج الحفر (ركام) من موقع المشروع.

#### 4. البرنامج العملي للدراسة

جدول (1) تقسيم الخلطات الخرسانية للدراسة

ر.م	الرمز	نسبة إستبدال مسحوق الرخام بالإسمنت MP/C
1	Mix 0	% 0
2	Mix 1	% 5
3	Mix 2	%10
4	Mix 3	%15
5	Mix 4	%20

#### 1.4. مكونات الخلطات الخرسانية

##### 1.1.4 الركام الخشن

تم توريد الركام الخشن من إحدى الكسارات الموجودة بمدينة بني وليد لصناعة الزلط بجميع أنواعه (محجر النجوم) ويوضح الجدول (2) التحليل المنخلي لعينة الركام الخشن وحدود المواصفات الليبية<sup>(2)</sup> والبريطانية<sup>(3)</sup> ، وكما

جدول (2) التحليل المنخلي لعينة الركام الخشن من محجر النجوم ببني وليد

حدود المواصفات		النسبة المئوية العابرة للمنخل (%)	فتحة المنخل ( ملم )
LQS 257	BS882:2002		
100-90	100	100.00	19
80-40	100-90	96.51	12.5
60-30	80-40	78.05	9.5
10-0	60-30	2.24	4.75



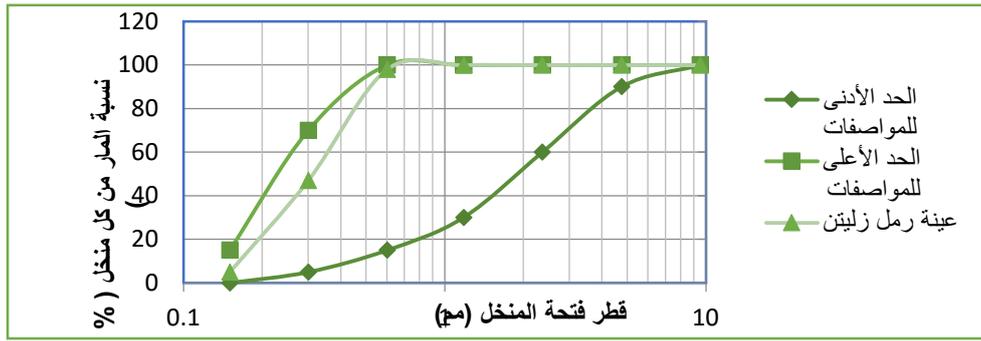
شكل (3) التدرج الحبيبي لعينة الركام الخشن من محجر النجوم ببني وليد وحدود المواصفات.

#### 2.1.4 الركام الناعم

في هذه الدراسة تم استخدام رمل زليتين، والجدول (3) يوضح التحليل المنخلي له وحدود المواصفات الليبية<sup>(2)</sup> والبريطانية<sup>(3)</sup>

جدول (3) التحليل المنخلي لعينة الركام الناعم

حدود المواصفات		نسبة المار (%)	فتحة المنخل (مم)
LQS 257 -2024	BS882-2002(zone1)		
100	90-100	100.00	4.75
100-80	60-95	100.00	2.36
100-70	30-70	99.86	1.18
100-55	15-34	97.94	0.6
70-5	5-15	47.04	0.3



شكل (4) التدرج الحبيبي لعينة الركام الناعم وحدود المواصفات.

### 3.1.4 الإسمنت

نوع الاسمنت المستخدم في هذه الدراسة هو الاسمنت البورتلاندي العادي (Type I) من إنتاج مصنع الإتحاد العربي للأسمنت (زليتين)، وخواصه تم الحصول عليها من معمل مراقبة الجودة بالمصنع والموضحة بالجدول (4) وحدود المواصفات الليبية(4) والبريطانية(5) .

### 4.1.4 ماء الخلط

تم استخدام ماء صالح لإعداد الخلطات الخرسانية، وتم إختباره في مركز البحوث الصناعية بتاجوراء للتأكد من مطابقته للمواصفات القياسية الليبية رقم 294 لسنة 2013 (6) كما هو موضح بالجدول (3-8).

جدول (4) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت حسب المواصفات

حدود المواصفات		النتيجة	نوع الاختبار
LQS 294 – 2013	BS 882:2002		
%33-%27	%32-%27	29%	القوام القياسي (%)
لا يقل عن 60 دقيقة	لا يقل عن 45 دقيقة	2:40	زمن الشك الابتدائي (ساعة)
لا يزيد عن 10	لا يزيد عن 10	5:30	زمن الشك النهائي (ساعة)
لا يزيد عن 10 مم	لا يزيد عن 10 مم	0.85	ثبات الحجم (مم)
لا تقل عن 42.5 ن/مم <sup>2</sup>	لا تقل عن 39 ن/مم <sup>2</sup>	46	مقاومة الضغط بعد 28 يوم (ن/مم <sup>2</sup> )
3.12-3.15	-	3.16	الوزن النوعي
لا تقل عن 2500	لا تقل عن 2500	3000	النعومة (جم/سم <sup>2</sup> )

الجدول (5) التركيب المعدني للماء

الاختبار	النتيجة (mg/L)	للمواصفات القياسية البيئية رقم 294 لسنة 2013 الحد الأقصى المسموح به (mg/L)
محتوى الكبريتات (SO4)	117.5	1000
محتوى الكلوريدات (Cl)	296.33	500
الأملاح الذائبة (T.D.S)	888	2000
الكربونات والبيكربونات	190	1000
الأس الهيدروجيني PH	7.87	8-6

## 5.1.4 مكونات الخلطة

أعدمت في هذه الدراسة الطريقة الحجمية (طريقة الحجم المطلق) لتصميم الخلطات الخرسانية، حيث كانت نسبة الماء للإسمنت (w/c) (0.4,0.45,0.5) وكانت مكونات الخلط للخرسانة موضحة في الجدول (3-9) أستهدفت مقاومة تصميمية قدرها 42 ن/م<sup>2</sup>.

الجدول (6) مكونات الخلط

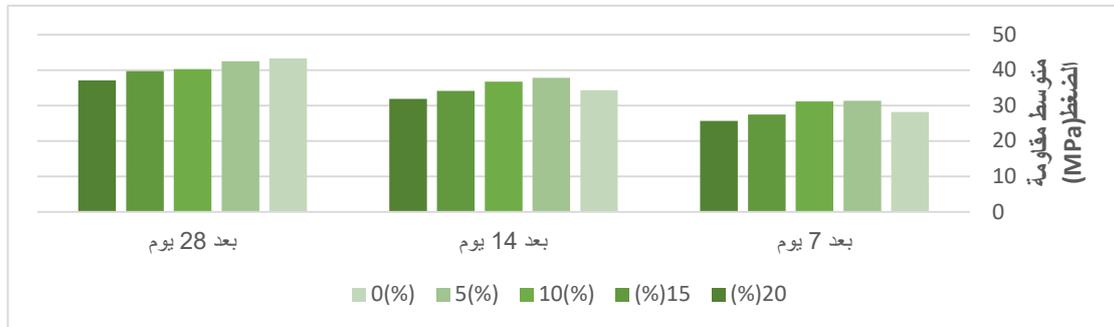
MIX	MP/C %	الماء كجم/م <sup>3</sup>	الإسمنت كجم/م <sup>3</sup>	الرخام كجم/م <sup>3</sup>	الركام الخشن كجم/م <sup>3</sup>	الركام الناعم كجم/م <sup>3</sup>
(نسبة الماء/الإسمنت=0.5) (نسبة الخشن/الناعم=2.5) (نسبة الركام/الإسمنت=3.21)						
Mix 0	0	245	490	0	1125	450
Mix 1	5	245	465	24.5	1078	431.5
Mix 2	10	245	441	49	1033	413
Mix 3	15	245	416.5	73.5	987	396
Mix 4	20	245	392	98	941	376
(نسبة الماء/الإسمنت=0.45) (نسبة الخشن/الناعم=2.5) (نسبة الركام/الإسمنت=3.34)						
Mix 5	0	220.5	490	0	1170	468.5
Mix 6	5	220.5	465.5	24.5	1125	450
Mix 7	10	220.5	441	49	1079	432
Mix 8	15	220.5	416.5	73.5	1033	413
Mix 9	20	220.5	392	98	987	395

(نسبة الماء/الإسمنت=0.4) (نسبة الخشن/الناعم=2.5) (نسبة الركام/الإسمنت=3.47)						
487	1216	0	490	196	0	Mix 10
468.3	1171	24.5	465.5	196	5	Mix 11
450	1125	49	441	196	10	Mix 12
432	1079	73.5	416.5	196	15	Mix 13
413.2	1033	98	392	196	20	Mix 14

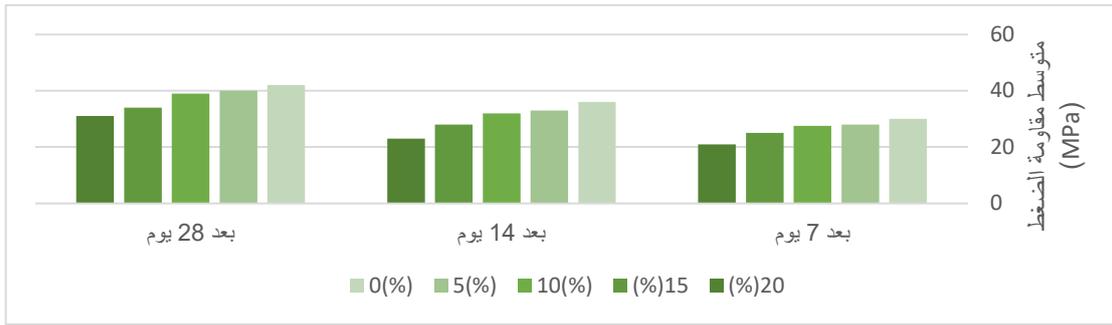
## 5. النتائج



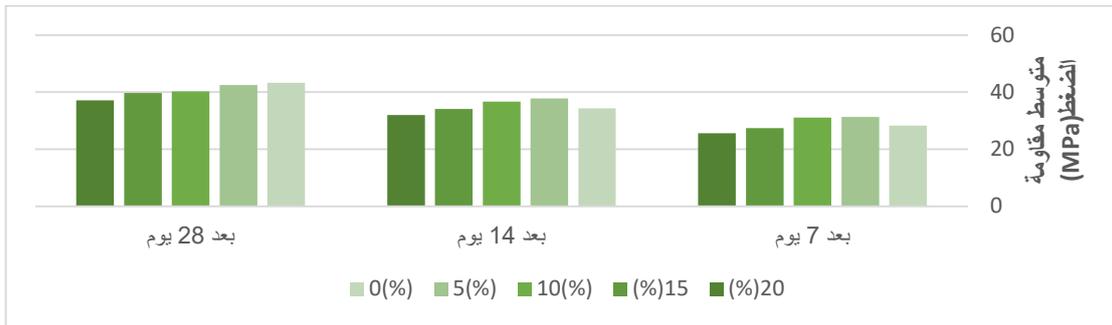
شكل (5): تأثير نسب الإستبدال المختلفة (WMP) على هبوط الخرسانة



شكل (6): تأثير نسب الإستبدال المختلفة (WMP) على مقاومة ضغط الخرسانة بفترات زمنية (w/C=0.5).



شكل (7): تأثير نسب الإستبدال المختلفة (WMP) على مقاومة ضغط الخرسانة بفترات زمنية (w/C=0.45).



شكل (8): تأثير نسب الإستبدال المختلفة (WMP) على مقاومة ضغط الخرسانة بفترات زمنية (w/C=0.4).

## 6. الإستنتاجات

- مسحوق مخلفات الرخام المستعمل صنف في هذه الدراسة مادة خاملة مألثة جيدة الترابط وأكدت النتائج إمكانية إستعماله لزيادة محتوى العجينة الرابطة وبالتالي يمكن استخدامه للحفاظ على البيئة.
- إضافة مسحوق الرخام يقلل من مقاومة الضغط للخرسانة سجلت أعلى مقاومة ضغط لنسب إستبدال 5% و10% مع نسب مختلفة (w/c) (0.40 - 0.45 - 0.5) وكانت مقاومة الضغط لنسبة الإستبدال 5% (34.3 - 40.0 - 42.5) على التوالي وكانت مقاومة الضغط لنسبة الإستبدال 10% (35.6 - 39.0 - 40.2) على التوالي.
- مسحوق الرخام المضاف للخرسانة يؤثر بشكل مباشر على كثافة الخرسانة حيث يقلل كثافتها وبالتالي نتحصل على خرسانة خفيفة الوزن وبالتالي تكون أقل تكلفة وملائمة للبيئة.
- يمكن الإستفادة من الإستبدال الجزئي للرخام في تنفيذ خرسانات للأرضيات وغيرها من العناصر الغير إنشائية إلى حين الوصول إلى نتائج يمكن إستعمالها في العناصر الإنشائية.

## 7. التوصيات

بناء على ما تم التوصل إليه من نتائج وإستنتاجات في هذه الدراسة فإنه قد يتم إجراء البحوث ودراسات معمقة لإمكانية إنشاء مصانع توفر هذا المنتج بالأسواق في المستقبل القريب للتقليل من التلوث البيئي وتقليل إستهلاك الطاقة وتخفيض تكلفة الحصول على الخرسانة ودراسة تأثير إستخدام مزيج من مسحوق الرخام ومادة فعالة أخرى مثل: مسحوق الزجاج والرماد المتطاير على خصائص الخرسانة.

## 8. المراجع

- [1]. Neville A M., " Properties of Concrete ", 4th, London Group Ltd., Essex,1995.
- [2] المواصفات القياسية الليبية رقم 257 لسنة 2002ف الخاصة بركام الخرسانة من المصادر الطبيعية، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية - طرابلس.
- [3]. BS 882:2002" Specification for aggregates from natural sources ". British Standards Institution, 389 Chiswk high road, London, W4 4AL, UK,2002.
- [4] المواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسنة 2009ف الخاصة بالإسمنت البورتلاندي، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية - طرابلس.
- [5]. BS 12:1996" Specification for Portland Cement ". British Standards Institution, 389 Chiswk high road, London, W4 4AL, UK,1996.
- [6] المواصفات القياسية الليبية رقم 340 لسنة 2013ف الخاصة بالمياه المستعملة في الخرسانة، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية - طرابلس.
- [7] م. سناء عبدالستار الباجقني، " تنفيذ الخرسانة ذاتية الدمك باستخدام المواد المحلية"، رسالة مقدمة لاستكمال متطلبات التخرج لنيل درجة الاجازة العليا (الماجستير) قسم الهندسة المدنية بكلية الهندسة جامعة طرابلس - ليبيا، فصل الخريف 2010-9200.

## دراسة تأثير اضافة البولسترين على بعض خواص الخرسانة

أ. محمد ميلاد عجاج<sup>1</sup>، أ. د. زيدان علي حتوش<sup>2</sup>، د. عبد الحميد مفتاح كشلاف<sup>3</sup>

1. أستاذ، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة طرابلس

2. مساعد محاضر، قسم الهندسة المدنية، كلية التقنية التطبيقية، العواته

3. محاضر، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة طرابلس

(z.hatush@uot.edu.ly)

## المخلص

يشغل التفكير في بدائل حديثة وصديقة للبيئة بتكلفة معقولة بال العديد من الباحثين والمهتمين بإيجاد بدائل جزئية او كلية لبعض مواد البناء الأساسية بالتحديد مادة الاسمنت لما تمثله من أهمية انشائية في مختلف المشاريع الانشائية، وبالتالي توفير ما يمكن توفيره خصوصا في ظل ارتفاع أسعار الإسمنت في السوق الليبي.

يتناول هذا البحث خصائص الخرسانة والطوب المصنوع بطريقة مستحدثة من الاسمنت والماء والركام الناعم والركام الخشن الذي تم استبداله جزئيا ومن ثم بشكل كلي من حجمه بالبولسترين وكانت النسب على النحو التالي (80%، 90%، 100%) وكانت نسبة الماء للإسمنت (0.45)، حيث تم معالجة الخرسانة في عمر 7 أيام و 28 يوم، تم تسجيل نتائج مقاومة الضغط لقيم الاستبدال المختلفة بأبعاد مكعبات (150×150×150) مم، وتم الحصول على نتائج مقاومة للضغط مقبولة عند استبدال الركام كليا بالبولسترين (8.1) ميجا بسكال ، كما تم حساب قيمة الموصلية الحرارية للطوب المستخدم في السوق الليبي (الاسمطي والاجر والمصمت) فكانت قيمتها (0.9، 0.3، 0.8 - وات/متر) علي التوالي، ومنها تم حساب تخفيض الحمل الحراري في المباني وكانت نسبة التخفيض حوالي 70%، وتم تقليل التكلفة باستخدام الخرسانة المضاف اليها البولسترين واطهرت النتائج انها كانت أوفر اقتصاديا مقارنة بالخرسانة العادية عند اخذ اسعار الطاقة في عين الاعتبار.

الكلمات الدالة: مقاومة الضغط، بولسترين، العزل الحراري، نسبة الامتصاص، ركام خشن، التكلفة.

## 1. المقدمة:

لا شك ان صناعة الخرسانة في ليبيا لازالت تعتمد على المواد الأساسية منذ أكثر من خمسة عقود او يزيد بدون التفكير في استخدام بديل جزئي لبعض المواد مثل الاسمنت مثلا، والفكرة في استخدام البدائل للإسمنت هو محاولة تقليل التكلفة والوزن للمنشاء بشكل ولو جزئي بالإضافة لتوفير استهلاك الكهرباء لمصانع الاسمنت وذلك بتقليل زمن تشغيل المصانع والتقنين من كمية انبعاث الغازات الضارة مثل ثاني أكسيد الكربون وتحسين العزل الحراري وغيره، ولعل من أهم المواد المستخدمة حاليا بكثرة في بعض الدول هو استخدام مادة البولسترين ذو الكثافة المنخفضة والذي أتبتت بعض الدراسة التي أجريت في بعض المؤسسات الاكاديمية نجاعة هذه المادة في تحسين مقاومة الضغط لبعض الخلطات التجريبية وتحسين العزل الحراري للطوب المصنوع من إضافة

البولسترين والمونة الاسمنتية، ولقد بين بعض الدراسات السابقة لعدد من البعث إمكانية إضافة البولسترين<sup>1</sup> يتناول هذا البحث خصائص الخرسانة المصنوعة بطريقة مستحدثة من الاسمنت والماء والركام الناعم والركام الخشن الذي تم استبداله جزئياً بالبولسترين المعاد تدويره وكانت نسبة الاستبدال (0، 25، 35، 45، 55) % وكانت نسبة الماء للإسمنت (0.4، 0.35)، وبينت النتائج أنه يمكن الحصول على مقاومة ضغط مقبولة تصل إلى أكثر من 20 ميغا بسكال بكثافة قليلة وذلك باستخدام محتوى الماء للإسمنت منخفض 0.35 واستبدال الركام الخشن بالبولسترين بنسبة 45 %.

وفي دراسة علمية أخرى<sup>2</sup> ركز البرنامج العملي في هذه الدراسة في التحقق من خواص مادة البولسترين واختباره في الخلطات الخرسانية عن طريق إحلال حبيبات البولسترين كبديل جزئي للركام الخشن. وتمثل البرنامج العملي في هذه الدراسة باستبدال الركام الطبيعي الخشن بمادة البولسترين، ولمعرفة تأثيره على الخلطات الخرسانية تم عمل 30 خطة مختلفة وأجري عليها اختبارات مقاومة الضغط والشد غير المباشر والتغير في الكثافة ونسبة الامتصاص في ظل متغيرين هما نسبة البولسترين إلى الركام الطبيعي بالوزن (0، 10، 20، 30، 40، 50، 60) %، على التوالي وكانت ونسبة الماء إلى الإسمنت. (0.6، 0.45).

بالإضافة لذلك أجريت دراسة<sup>3</sup> لإنتاج خرسانة خفيفة الوزن وذلك بإحلال الركام الخفيف محل الركام العادي جزئياً أو كلياً، ومتطلباتها تعتمد على الكثافة والمقاومة. الدراسة الحالية تغطي استعمالات البولسترين كركام خفيف للخرسانة. الركام الخشن يستبدل بنسب هي (0، 15، 30، 45، 60، 75، 90، 100) % الهدف من المشروع دراسة التأثير في تفاوت كمية البولسترين الممدد في الخرسانة واختبار الضغط ووزن الخرسانة. النتائج العملية اثبتت ان مقاومة الضغط ووزن الخرسانة الذاتي يزيد وينقص بتغير نسبة البولسترين الممدد في الخرسانة.

## 2. أهداف الدراسة:

- ❖ تطوير الدراسات السابقة حول البحث.
- ❖ معرفة كيفية تأثير اضافة البولسترين كبديل للركام الخشن داخل الخرسانة والطوب.
- ❖ تسهيل البناء والمناولة عن طريق تقليل وزن الطوب.
- ❖ تحديد التكلفة الاقتصادية عند اضافة البولسترين بدلا من الركام الخشن.
- ❖ تقليل الوزن والكثافة مقارنة بالطوب العادي ومعرفة فارق التحميل بينهما.
- ❖ زيادة مقدار العزل الحراري في المباني السكنية والمنشآت الحيوية.
- ❖ تخفيض استهلاك الطاقة في المباني بحيث تساعد على حل المشاكل البيئية المتعلقة بالاستهلاك المفرط للطاقة في عمليات التدفئة والتبريد.

## 3. البرنامج العملي:

## 3.1 الإسمنت

أستخدم الإسمنت البورتلاندي العادي المورد من مصنع شركة الاتحاد العربي للمقاولات - مصنع البرج - طريق السواني لتنفيذ جميع الدراسة طبقا للمواصفات القياسية الليبية رقم 340 / 2009 م والتي أعدت من قبل المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية.

جدول (1) نتائج اختبارات الخواص الفيزيائية والميكانيكية للأسمنت البورتلاندي

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة	مواصفة الاختبار
القوام القياسي	30%	غير مشروطة	م ق ل 341
زمن الشك الابتدائي	140 دقيقة	لا يقل عن 45 دقيقة	م ق ل 341
زمن الشك النهائي	3.4 ساعة	لا يزيد عن 10 ساعات	م ق ل 341
ثبات الحجم	0.3 مم	لا يزيد عن 10مم	م ق ل 341
مقاومة الضغط للمونة الاسمنتية عمر 3 ايام	25 ن/مم <sup>2</sup>	اعلي من 21 ن/مم <sup>2</sup>	م ق ل 341
مقاومة الضغط للمونة الاسمنتية عمر 28 يوم	46 ن/مم <sup>2</sup>	اعلي من 39 ن/مم <sup>2</sup>	م ق ل 341

## 3.2 ماء الخلط

نوعية الماء المستخدم في تجهيز الخرسانة واحتوائه على الشوائب قد يتعارض مع تصد الإسمنت وبالتالي قد يؤثر على مقاومة الخرسانة ومتانتها، وايضا قد يتسبب في عملية صدأ حديد التسليح، ولهذا السبب لابد من الأخذ في الاعتبار ملائمة الماء المستخدم في عملية الخلط وليكون الماء صالح للخلط يجب أن يكون مجموع أوزان الأملاح الذائبة فيه أقل من 2000 جزء في المليون وتحدد المواصفة القياسية الليبية (م ق ل 294/2013).

## جدول (2) نتائج تحليل الماء المستخدم في الخلطات الخرسانية

اسم الاختبار	النتائج	حدود القسوى للأملح
قيمة الاس الهيدروجيني PH	7.69	6-8
املاح الكلوريدات Cl	110	500 ملي جرام /لتر
املاح الكبريتات $SO_4$	405	1000 ملي جرام /لتر
املاح الكربونات	140	1000 ملي جرام /لتر
املاح البيكربونات	140	1000 ملي جرام /لتر
مجموع الاملاح الدائبة T.D.S	1007	2000 ملي جرام /لتر

## 3.3.3 الركام الخشن (محجر رأس اللفع)

استخدم الركام الخشن المورد من محجر (رأس اللفع) بمقاسين اعتباريين (14,20) سم ويبين الجدول (3) نتائج اختبار الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام، وأجري التحليل المنخلي لكلا النوعين حيث وجد أن الركام ذو المقاس الاعتباري الأكبر 14 مم يطابق المواصفة الليبية 2002/49. ومن خلال النتائج تم اعتماد خلط المقاسين بنسبة خلط (1: 1.9) بحيث يكون المقاس الاعتباري الأكبر يساوي 20 مم، ويبين الجدول (4) نتائج التحليل المنخلي للخليط.

## جدول (3) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن بنوعية

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة		مواصفة الاختبار
		مقاس 20 مم	مقاس 14 مم	
الوزن النوعي	2.657	2.665	2.7-2.6	م ق ل 256
نسبة الامتصاص	0.98%	0.79%	لا تزيد عن 3	م ق ل 256
وزن وحدة الحجم	1528 كجم/م	1528 كجم/م	1400-1800 كجم/م	ASTM C29
معامل التهشيم	20.2%	21.7%	لا تزيد عن 45	م ق ل 253
معامل الصدم	15.5%	20.5%	لا تزيد عن 45	م ق ل 255

## جدول (4) التحليل المنخلي لخليط الركام الخشن بنسبة (1.9:1)

مقاس فتحة المنخل (مم)	النسبة المئوية للمار (%)	حدود المواصفة الليبية (49/2002)
37.5	100	100
19	99.7	100-90
14	66.8	80-40
10	35.3	60-30
5	3.38	10-0

## 3.4 الركام الناعم (محجر منطقة السائح)

الركام الناعم إما أن يكون نتيجة للتفتت الطبيعي للصخور أو أن يكون ناتجا من تكسير الحجارة ركام ناعم مجروش (الرمال) أو أن يكون ناتجا من خلط هذين النوعين بحيث لا يتجاوز المقاس الاعتيادي الاكبر للحبيبات 5 مم. المواد الناعمة (الطين والطيني): هي مواد ناعمة طبيعية تمر من منخل مقاس فتحته 75 مايكرومتر، طرق الفحص والاختبار: تجرى اختبارات على العينات طبقا للمواصفات القياسية الليبية ذات الأرقام (258، 257، 256، 251) والجدول (5) يوضح نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية.

## جدول (5) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الناعم

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة	مواصفة الاختبار
الوزن النوعي	2.67	2.7-2.5	م ق ل 256
نسبة الامتصاص	0.3	لا تزيد عن 3	م ق ل 256
وزن وحدة الحجم (كجم/م <sup>3</sup> )	1570	1800-1400 (كجم/م <sup>3</sup> )	-

## 3.5 الخلط والصب والمعالجة

تم اجراء مجموعة من الاختبارات المعملية باستخدام نسب ثابتة للماء والركام والناعم والاسمنت مع تغير نسبة البولسترين والركام الخشن كم موضح بالجدول (6)، وتم ذلك باستخدام المعادلة الحجمية وقد تم اعتماد قيمة الوزن النوعي 2.67 لركام الناعم و2.66 لركام الخشن و3.15 للإسمنت و0.14 للبولسترين ولقد تم اعداد مكعبات مقاس 15\*15\*15 سم لتحديد مقاومة الضغط للخلطة مع وبدون إضافة مادة البولسترين.

جدول (6) نسب خلط المواد الداخلة في تكوين الخلطة الخرسانية

البولسترين (%)	W/C	الملدن (لتر)	الماء (لتر)	الاسمنت (كجم)	ركام ناعم (كجم)	ركام خشن (كجم)	البولسترين (كجم)
%80	0.45	%1	168.75	375	750		8.83
%90							9.936
%100							11.04
%100							12.87



شكل (1) إضافة مادة البولسترين مع باقي محتويات الخلطة في الحالة الجافة



شكل (2) تسوية سطح العينات بعد عملية الصب

## 4. الموصلية الحرارية للطوب في السوق الليبي:

نظرا لأن الطوب الذي يتم صناعته في ليبيا لا يتم تصنيعه وفق المواصفات الحرارية القياسية، لهذا تم البحث عن جهاز يقيس الموصلية الحرارية أو المقاومة الحرارية لأنواع الطوب المختلفة، وقد تم التواصل مع مركز البحوث الصناعية تاجوراء، ومركز بحوث الطاقة الشمسية، ومركز التقنية المتقدمة، ومعهد البحوث في النفط، ومركز المواصفات والمعايير، وللأسف لم يتم الحصول على جهاز يقيس الموصلية الحرارية.

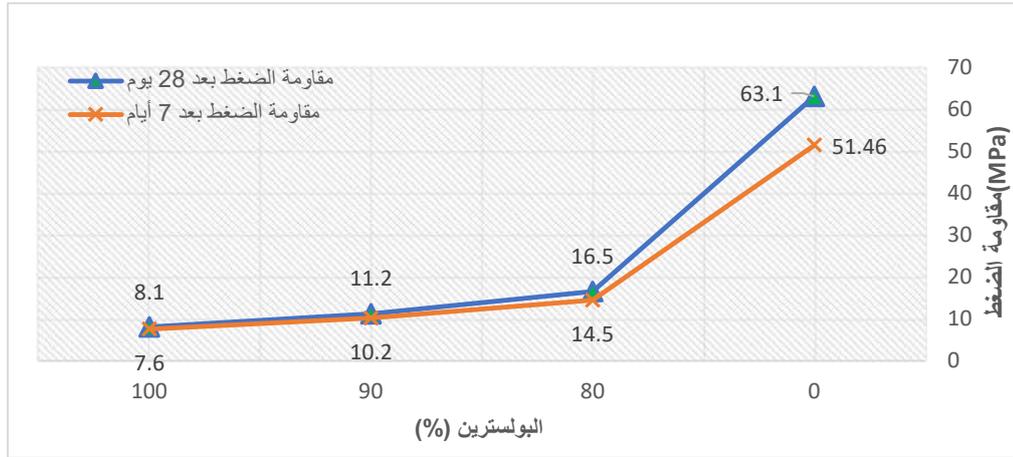
وقد تم الاستعانة بحدود المواصفات العربية والتي يتم تقدير الموصلية الحرارية بناء على كثافة الطوب، ولقد تم تجميع بيانات لعدد من أنواع الطوب المستخدم في السوق الليبي بمقاسات مختلفة نذكر منها الطوب (الاسمنتي المفرغ، وطوب الاجر، والطوب المصنوع من الحجر الجيري الأبيض)، وتم تقدير الكثافة الجافة لكافة أنواع الطوب المذكورة قيد الدراسة.

## 5. مناقشة النتائج:

## 5.1 نتائج اختبارات مقاومة الضغط

تأثير إضافة البولسترين للخلطة على مقاومة الضغط تأثير محدود وفق الشكل رقم (3)، حيث لوحظ بأن العلاقة عكسية بين المتغيرين أي ان كلما زادت نسبة البولسترين قلت مقاومة الضغط وتم تلخيص النتائج وفق الاتي:

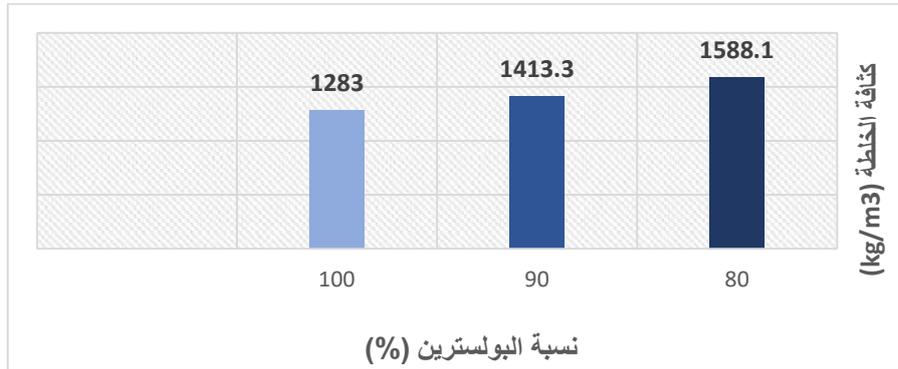
- 1- العينة التي تحتوي على البولسترين بنسبة 80% من حجم الركام كانت مقاومة الضغط (14.5) ميغا بسكال عند 7 ايام، وبعد عمر 28 يوم بلغت مقاومة ضغط (16.5) ميغا بسكال.
- 2- عندما كانت نسبة البولسترين 90% كانت مقاومة الضغط (10.2) ميغا بسكال خلال 7 ايام وكانت (11.2) ميغا بسكال بعد 28 يوم.
- 3- عندما كانت نسبة البولسترين 100% وصلت مقاومة الضغط (7.6) ميغا بسكال بينما كانت المقاومة بعد 28 يوم (8.1) ميغا بسكال.
- 4- عندما كانت نسبة البولسترين 100% وكانت نسبة الركام الناعم الى الخشن 30% كانت مقاومة الضغط بعد 7 ايام تتراوح بين (5.4-6.1) ميغا بسكال بينما كانت المقاومة بعد 28 يوم تتراوح بين (5.6-6.8) ميغا بسكال.



شكل (3) تأثير إضافة البولسترين على مقاومة الضغط

### 5.2 نتائج اختبارات الكثافة

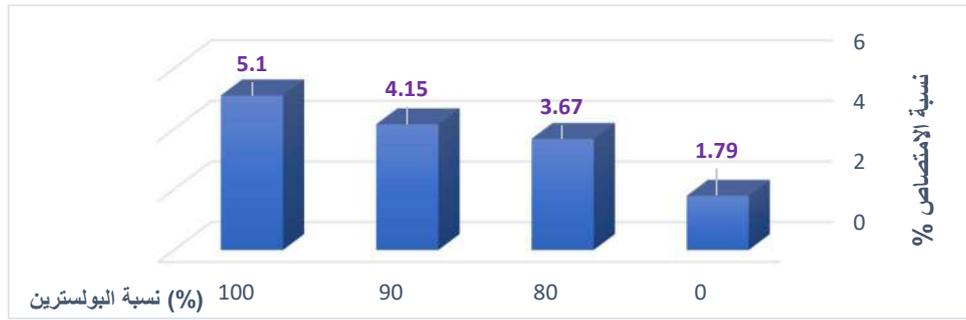
من الشكل (4) يتضح أن العلاقة بين الكثافة ونسبة البولسترين كانت علاقة عكسية حيث أي زيادة في نسبة البولسترين بمقدار 10% يصاحبه نقص في كثافة الخلطة بنفس النسبة.



شكل رقم (4) تأثير نسبة البولسترين على كثافة الخلطة

### 5.3 نتائج الامتصاص

بالتدقيق في الشكل (5) نلاحظ ان العلاقة طردية بين الامتصاص والبولسترين أي انه كلما زادت نسبة البولسترين في الخلطة زادت نسبة الامتصاص.



شكل (5) تأثير إضافة البولسترين على نسبة الامتصاص للخلطة

## 5.4. نتائج العزل الحراري

كانت قيمة الموصلية الحرارية للطوب الاسمنتي والمصمت في المتوسط ( $w/m.k$ , 0.8), بينما في الطوب الاجر كانت ( $w/m.k$ , 0.33).

جدول (7) نتائج الكثافة والموصلية الحرارية للطوب الاسمنتي

مقاس الطوب الاسمنتي (مم)	متوسط الكثافة (كجم/متر <sup>3</sup> )	الموصلية الحرارية (وات/متر)
200x100	1322.879	0.9
200x150	1230.397	0.8
200x200	1290.337	0.8

جدول (8) نتائج الكثافة والموصلية الحرارية للطوب الاجر

مقاس الطوب الاجر (مم)	متوسط الكثافة (كجم/متر <sup>3</sup> )	الموصلية الحرارية (وات/متر)
200x150	609.54	0.33
200x200	615.57	0.33

جدول (9) نتائج الكثافة والموصلية الحرارية للطوب المصمت

مقاس الطوب المصمت (مم)	متوسط الكثافة (كجم/متر <sup>3</sup> )	الموصلية الحرارية (وات/متر)
185x120	1509.25	0.80
185x140	1586.34	0.82

## 6 التوصيات:

1. اعادة الدراسة باستخدام نسب مختلفة للمحتوى المائي والركام الناعم والاسمنت.
2. اعادة الدراسة باستخدام بولسترين عالي الكثافة.
3. قياس العزل الحراري بأجهزة دقيقة وبشكل ادق حيث تعذر علينا في هذا المشروع قياسها وتم حسابها باستخدام معادلات رياضية مقارنة بمشروع سابق.
4. دراسة كاملة للتوفير في التكلفة الاقتصادية عند استخدام الطوب العازل في عملية البناء.
5. تطوير اشكال أخرى من الطوب.
6. دراسة تكلفة بناء منزل باستخدام الطوب العازل ومقارنتها باستخدام الطوب العادي وحساب تكلفة التوفير في المدى البعيد.

## 7.المراجع:

- [1] محمد الشاوش، محمد احسان، دراسة الخواص الميكانيكية والحرارية والجدوى الاقتصادية لإضافة البولسترين في الخرسانة، مشروع تخرج لنيل درجة البكالوريوس، ليبيا، جامعة طرابلس، قسم الهندسة المدنية، خريف 2021.
- [2] زينب العرادي، ليلي عبد السلام، إنتاج خرسانة إنشائية خفيفة عن طريق الإحلال الجزئي للركام الخشن بالبولسترين المعاد تدويره، ليبيا، مشروع تخرج لنيل درجة البكالوريوس، جامعة طرابلس، قسم الهندسة المدنية، خريف 2018.
- [3] قصي ابوسبيته، على تركمان، استخدام مادة البولسترين كبديل جزئي للركام الخشن في الخلطة الخرسانية، مشروع تخرج لنيل درجة البكالوريوس، ليبيا، جامعة طرابلس، قسم الهندسة المدنية، ربيع 2015.
- [4] معاوية كعبار، محمود بيترو 2012-2013، استبدال الركام الخفيف محل الركام العادي جزئياً او كلياً، مشروع تخرج لنيل درجة البكالوريوس، ليبيا، جامعة طرابلس، قسم الهندسة المدنية، خريف 2020.
- [5] عبد السلام الحارثي، ضياء حمودة، الخرسانة ذاتية الدمك المضاف اليها الركام المعاد تدوير مشروع تخرج لنيل درجة البكالوريوس، ليبيا، جامعة طرابلس، قسم الهندسة المدنية، ربيع 2022.

## تأثير الظروف المناخية على الخواص الميكانيكية للخرسانة العادية وعالية المقاومة

فرحات غريبي فرحات احميده<sup>1\*</sup>، خديجة الأمين ابوالعيون<sup>2</sup>، احمد عثمان رفة<sup>3</sup>، حسن إبراهيم الفتحي<sup>4</sup>

1 أستاذ، قسم الهندسة المدنية، كلية التقنية الهندسية، هون-ليبيا

2 محاضر مساعد، قسم الهندسة المدنية، كلية التقنية الهندسية، هون-ليبيا

3 باحث جهاز تنمية وتطوير المراكز الإدارية

4 أستاذ مساعد، كلية الهندسة، جامعة صبراتة

Farhat.g.farhat@gmail.com\*

## المخلص

تعتبر الخرسانة من اهم المواد الانشائية التي استخدمت ولا زالت تستخدم الى يومنا هذا في اعمال البناء والانشاءات الهندسية نظرا لمتانتها وتوفر موادها الأولية وسهولة التعامل معها. وأصبح التركيز على ديمومة الخرسانة بشكل كبير في الفترة الحالية من قبل الباحث والمختصين. كما أصبح التزايد هائلا في معدل التطوير والتحديث في مجالات البناء والتشييد بصوره عامه والخرسانة بصورة خاصة.

تهتم هذه الورقة العلمية بدراسة بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة العادية NSC وعالية المقاومة HSC وذلك بعد تعريضها لدرجات مختلفة من الرطوبة والحرارة (عينات غمرت بالكامل في الماء وأخرى تعرضت لدرجات الحرارة الخارجية وعينات أخرى تعرضت لدرجة حرارة المعمل) وقد اثبتت النتائج ان كلا من الخرسانة العادية وعالية المقاومة تسلك سلوكا واحدا وان أفضل مقاومة كانت للعينات المعالجة تحت الماء

الكلمات الافتتاحية: الخرسانة العادية، عالية المقاومة، الحرارة، الرطوبة

## 1-المقدمة

ظروف الطقس الحار القاسية شائعة في العديد من البلدان حول العالم، على سبيل المثال، في بعض الأماكن من الصحراء الكبرى، يمكن أن تصل درجة الحرارة الخارجية إلى 50 درجة مئوية ويمكن أن تنخفض الرطوبة النسبية إلى أقل من 10%. يؤدي الطقس الحار أيضا إلى العديد من المشاكل في إنتاج ونقل وبناء وصيانة الخرسانة والهياكل الخرسانية حيث يؤثر على أداء الخرسانة الطازجة والمتصلبة [1].

منطقة الصحراء الليبية. مناخها شديد للغاية، السمات الرئيسية للمناطق الحارة القاحلة هي الصيف الحار الطويل (أكثر من 100 يوم في السنة)، وارتفاع درجة الحرارة المحيطة (درجة الحرارة المطلقة تزيد عن 40 درجة وأحيانا تصل درجة الحرارة القصوى إلى حوالي 50 درجة مئوية في الصيف والملاح الرئيسية للمناطق الحارة القاحلة هي صيف حار طويل، وارتفاع درجة الحرارة المحيطة، وانخفاض متوسط الرطوبة النسبية، والأمطار العرضية، والرياح الجافة والعواصف الترابية. إن ارتفاع درجة الحرارة والرطوبة المنخفضة والإشعاع الشمسي العالي لا يسبب إزعاجا للإنسان فحسب، بل يؤدي أيضًا إلى تدهور بعض المواد المعرضة الى تفاوت كبير في درجات الحرارة

يقلل الطقس الحار من قوة الخرسانة ويضعف متانة الخرسانة، مما يقلل من عمر خدمة الهياكل الخرسانية ويؤدي إلى تدهورها السريع [2]. يعزى انخفاض الخرسانة في المناطق الحارة والجافة إلى الطقس الحار [3-5]، وسوء مواد البناء، وممارسات البناء السيئة. كما تؤثر البيئة بشكل كبير على أداء الخرسانة من خلال هذه العوامل.

تتأثر خصائص الخرسانة الطازجة والصلبة بخصائص الطقس الحار مثل الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة المحيطة والإشعاع الشمسي وسرعة الرياح [6]. يمكن أن تؤثر مجموعات أكثر من خاصية واحدة للطقس الحار، مثل درجة الحرارة والرطوبة، بشدة على خصائص الخرسانة الطازجة و / أو الصلبة. ارتفاع درجة حرارة الخرسانة في وقت التنسيب أن تبدأ سلسلة من العمليات الضارة، وتفرض بعض المعايير الدولية قيوداً على درجة حرارة الخرسانة للتحكم في الآثار غير المواتية للطقس الحار.

معظم الدراسات التي أجريت على تأثير الطقس الحار على خواص الخرسانة تتعلق بتأثير درجة حرارة المعالجة على الخرسانة العادية. وقد أثبت العديد من الباحث أن تعتمد كفاءة المعالجة على نوع المعالجة ونوع العينة الصلبة والبيئة وفترة المعالجة. بالإضافة إلى ذلك، يتأثر تأثير طريقة المعالجة على القوة إلى حد كبير بالبيئة وظروف المعالجة [7-10].

في هذا البحث، تم إجراء التجارب على نوعين من الخرسانة وهما الخرسانة العادية Normal strength concrete NSC، وكذلك الخرسانة عالية المقاومة High strength concrete HSC وقد أجريت التجارب تحت تأثير درجات حرارة ورطوبة مختلفة. وقسمت البيئة الخارجية إلى ثلاثة أقسام. القسم الأول عينات وضعت تحت الماء والقسم الثاني عينات وضعت تحت درجة حرارة ورطوبة المعمل وأخيراً القسم الثالث عينات وضعت خارج المعمل تحت درجات الحرارة العالي والرطوبة المنخفضة وقد أجريت تجارب مقاومة الضغط والشد الغير مباشر وكذلك مقاومة الانحناء لجميع العينات بعهد 28 يوم من عمرها.

## 2. البرنامج العملي

اعتمدت الدراسة المعملية في البداية على إجراء اختبارات المواد الأولية تم اختبارات الخرسانة اللدنة وذلك عن طريق اختبار الهبوط وكذلك الخرسانة المتصلدة وذلك بإجراء اختبارات الضغط والشد الغير مباشر وكذلك اختبارات الانحناء. جميع التجارب أجريت وفق المواصفات البريطانية.

### 1.2 المواد المستخدمة

#### 1.1.2 الاسمنت

تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي من شركة الاتحاد العربي للأسمنت زليتن وهو اسمنت معبأ في أكياس كل كيس وزن 50 كيلوجرام

**2.1.2 الركام الخشن**

مصدره من المحاجر المنتشرة في جبال السودان بمنطقة سوكنه وهو ركام متدرج مقاسه الاعتباري الأكبر 14 ملليمتر وقد أجريت عليه مجموعه من التجارب بعضها موضح في الجدول رقم 1 والشكل رقم 1 يوضح منحني التدرج الحبيبي وكذلك حدود المواصفة.

**3.1.2 الركام الناعم**

مصدره من مدينة زلة وتم اجراء العديد من الاختبارات الفيزيائية والجدول رقم 2 وكذلك الشكل رقم 2 يوضحان نتائج هذه الاختبارات

**4.1.2 السليكا فيوم**

تم استخدام مادة السليكا فيوم في جميع خلطات الخرسانة عالية المقاومة HSC بنسبة 11% من وزن الاسمنت ويكون أكسيد السيلكون هو المادة الرئيسية في تركيبها. ولها نعومة عالية جدا تصل الى 200000 سم<sup>2</sup>/جرام وهو اعلى من 13-20 مرة من مساحة السطح المحدودة للمواد البوزولانية الأخرى. ومادة السليكا فيوم لها تأثير كبير على الخواص الخرسانية وينظر الى مساهمتها في الخرسانة بتفاعلها مع هيدروكسيد الكالسيوم مما يؤدي الى زيادة انتاج C-S-H وهو الغراء الذي يعمل بمثابة الرابط بين الجسيمات الكلية ويعطي الخرسانة قوتها. وهناك مساهمه أخرى للسليكا فيوم وهذا يرجع الى جزيئاتها الدقيقة للغاية وتعمل كحشو بين حبيبات الاسمنت وهذا يزيد من التعبئة ويؤدي الى انخفاض المسامية.

**5.1.2 الإضافات الكيميائية (الملدنات)**

تم استخدام الملدن الفائق من نوع Plast 03 وتم توريده بواسطة شركة البنيان. وهذه الانواع من الملدنات لها القدرة للحد من المياه عالية المدى وتلعب دورا كبيرا كمخفضات المياه الفائقة وهذا يكون له دورا كبيرا في تطوير الأداء العالي للخرسانة. وتعمل جزيئات الملدنات على الالتواء حول حبيبات الاسمنت اثناء التفاعل الأول مما يقلل من عملية جاذبية الجزيئات وتؤدي هذه العملية ازالة الشوائب لتصبح حبيبات الاسمنت أكثر تناسقا في المزيج الخرساني. كما تؤدي إضافة الملدن الى المزيج الخرساني لتقليل المحتوى المائي بنسبة 20-30% دون فقدان القدرة على العمل. تتراوح جرعات الملدن لغرض زيادة الهبوط من 75 ملليمتر الى 200 ملليمتر في حدود من 1-3 لتر لكل متر مكعب والجرعة المفرطة تؤدي الى حدوث عمليات الفصل segregation. والجدول رقم 3 يوضح نسبة الملدن في الخلطة الخرسانية.

## 2.2. الاختبارات المعملية

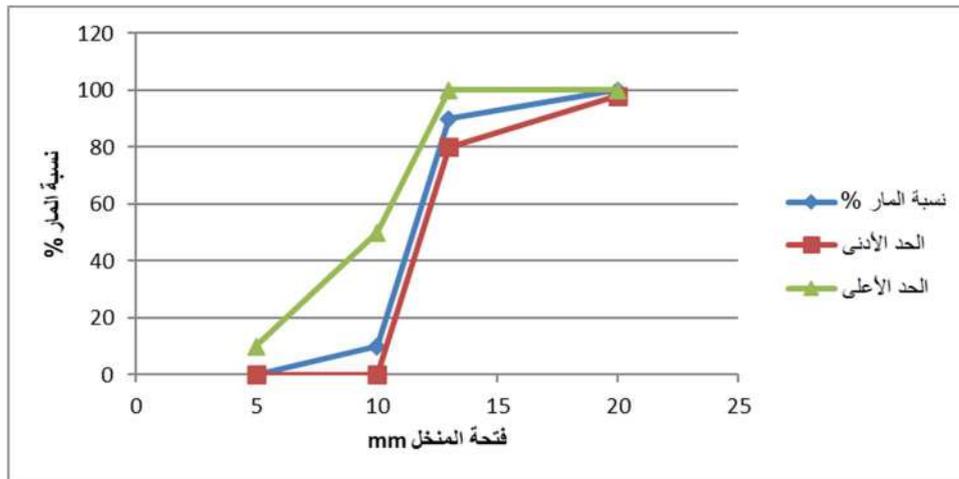
تم اجراء الاختبارات المعملية لكل مكونات الخلطة الخرسانية المستخدمة من ركام خشن وركام ناعم والتي تشمل اختبارات الوزن النوعي ونسبة الامتصاص ونسبة المواد الناعمة وكذلك اختبارات التدرج الحبيبي. كما أجريت الاختبارات للخرسانة اللدنة والمتصلدة المتمثلة في اختبارات مقاومة الضغط ومقاومة الشد الغير مباشر وكذلك اختبارات الانحناء.

جدول (1) الخواص الفيزيائية للركام الخشن

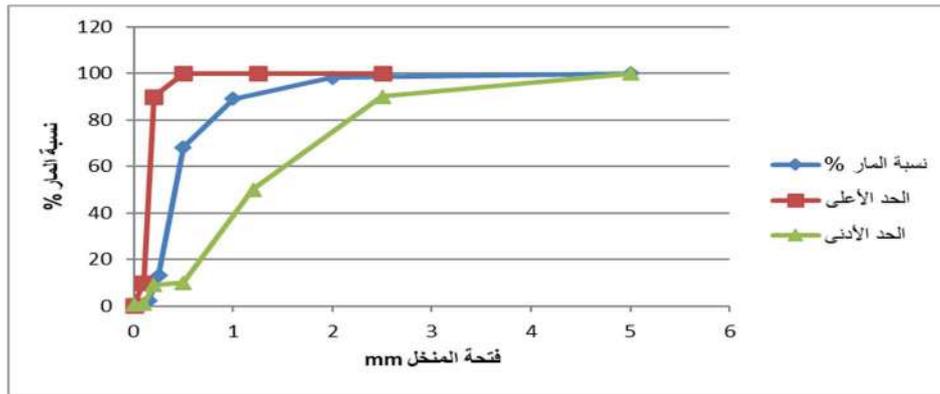
الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة
الوزن النوعي	2.85	2.90-2.35
نسبة الامتصاص	2.03	لا تزيد عن 3
نسبة الطمي والطين	2.53	لا تزيد عن 4

جدول (2) الخواص الفيزيائية للركام الناعم

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة
الوزن النوعي	2.68	2.70-2.60
نسبة الامتصاص	2.20	لا تزيد عن 3
نسبة المواد الناعمة	2.4	لا تزيد عن 3



شكل (1) التدرج الحبيبي للركام الكبير



شكل (2) التدرج الحبيبي للركام الصغير

### 1.2.2 الخلط والصب والمعالجة للخرسانة

بالنسبة للخرسانة العادية تم خلط المواد الجافة وبعد ذلك أضيفت كمية المياه المطلوبة ( $w/c = 0.55$ ) ما بالنسبة للخرسانة عالية المقاومة فقد تم خلط المواد الجافة والسليكا فيوم وبعد ذلك أضيفت كمية المياه المطلوبة وهي كمية اقل من مياه الخرسانة العادية ( $w/c = 0.32$ ) وأخيرا تم إضافة الملدن تدريجيا حسب النسبة المطلوبة والمدونة في الجدول رقم (3). وبعد ذلك تم نقل الخرسانة لأجراء التجارب اللازمة كاختبار الهبوط للخرسانة اللدنة واختبارات الضغط والشد الغير مباشر والانحناء والجدول رقم (3) يوضح تفاصيل نسب المواد الخلطات الخرسانية للخرسانة العادية وعالية المقاومة

جدول (3) مكونات الخلطة الخرسانية للخرسانة العادية والخرسانة عالية المقاومة

رقم الخلطة	وزن الاسمنت كجم		المادة المائنة		وزن الماء كجم	وزن الركام الخشن كجم	وزن الركام الناعم كجم	الإضافة	
	النسبة %	الوزن كجم	النسبة %	الوزن كجم				النسبة %	الوزن كجم
40	0	350	0	0	196	875	700	0	0
100	11	500	55	11	161	1105	660	1.5	7.5

## جدول (4) تفاصيل إجراء تجارب الخرسانة المتصلة

نوع العينة	مكان المعالجة	عدد العينات	رمز العينة	اختبار الضغط	اختبار الشد غير المباشر	اختبار الانحناء
الخرسانة العادية NSC	الماء	3	NSW	مكعبات 150x150x150	أسطوانات 150x300	عتبات 100x100x500
	المعمل	3	NSL			
	الهواء	3	NSD			
الخرسانة عالية المقاومة HSC	الماء	3	HSW	مليمتري	مليمتري	مليمتري
	المعمل	3	HSL			
	الهواء	3	HSD			

## 3.2 نتائج اختبارات الخرسانة

## 1.3.2 اختبار الهبوط

يجري اختبار الهبوط وذلك لتعيين قوام الخرسانة الطازجة ويعتبر الأكثر شيوعاً في العالم وقد تم استخدام مخروط الهبوط القياسي بقطر علوي 100 مليمتري وقطر سفلي 200 مليمتري وارتفاع 300 مليمتري وكان متوسط الهبوط لعينات الخرسانة العادية 72 مليمتري بينما زاد الهبوط في عينة الخرسانة عالية المقاومة ليصبح 135 مليمتري ويرجع السبب في هذه الزيادة إلى إضافة الملدن الذي بدوره تسبب في سيولة وانسيابية الخرسانة الطازجة أي زيادة قابلية التشغيل.

## 2.3.2 اختبارات الخرسانة المتصلة

بعد إتمام عملية صب القوالب وانقضاء عمر العينات كما هو مصمم في الجدول رقم 4 تم إجراء اختبارات الخرسانة المتصلة المتمثلة في اختبار مقاومة الضغط ومقاومة الشد غير المباشر ومقاومة الانحناء للخرسانة العادية والخرسانة العالية المقاومة وتم تدوين النتائج في الجدول رقم 5 والتعليق على هذه الاختبارات والنتائج كما يلي:

## أولاً اختبار مقاومة الضغط

كما هو موضح في الجدول رقم 4 تم اختبار 9 مكعبات بأبعاد (150\*150\*150) مليمتري. حيث تم إجراء الاختبار طبقاً للمواصفات البريطانية بعد عمر 28 يوم من بقاء العينات في كلا من الماء والمعمل والجو الخارجي وقد سجلت مقاومة الضغط لعينات الخرسانة العادية (51.5-56.7) MPa على التوالي ونلاحظ ارتفاع قيمة مقاومة الضغط في العينات المغمورة تحت الماء وانخفاضها في العينات المعرضة لحرارة المعمل أو الجو الخارجي

والشكل رقم 3 يوضح الفرق بين هذه القيم وقد اثبتت هذه النتائج انه لا يوجد فرق بين قيمة مقاومة الضغط بين العينات المعرضة لحرارة المعمل والعينات المعرضة للجو الخارجي. شكل رقم 4 يوضح نتائج اختبار الضغط في الخرسانة عالية المقاومة حيث كانت النتائج على النحو التالي (106.30-98.60-101.30) MPa على التوالي، وبهذه النتائج يتضح ان مقاومة الضغط تسلك نفس سلوك الخرسانة العادية وتعطي أكبر قيم عندما تكون العينات في الماء وذلك لان الماء يساعد في الحفاظ على المحتوى المائي بها ويمنع عملية التبخر الا انه نجد نسبة التأثر لعينات الخرسانة عالية المقاومة اقل مما هو عليه في الخرسانة عادية المقاومة وهذا ربما بسبب التركيب الداخلي الكثيف للخرسانة عالية المقاومة Internal microstructure والذي قد يمنع تأثير الظروف الجوية على هذا النوع من الخرسانة.

#### ثانياً اختبار الشد غير المباشر

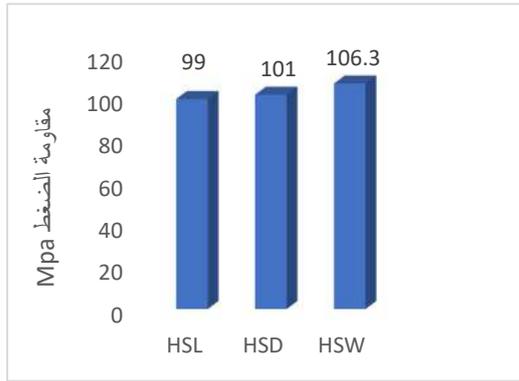
في هذا الاختبار تم استخدام أسطوانات بقطر 150 ملليمتر وارتفاع 300 ملليمتر والجدول رقم 4 يوضح عدد العينات وطرق المعالجة وقد تم أيضا اجراء الاختبار حسب المواصفات البريطانية بعد 28 يوم من صب الخرسانة. تبين النتائج المدونة في الجدول رقم 5 وكذلك الشكل رقم 5 ان مقاومة الشد للخرسانة العادية في كلا من الماء والمعمل والجو كانت (3.60-4.10-5.30) MPa على التوالي وهذا يعطي انخفاضا في مقاومة الشد يصل الى 22% وكذلك 32% بينما عينات الخرسانة عالية المقاومة كانت نتائجها (8.7-7.3-9.4) MPa على التوالي وهذا يعطي انخفاضا في مقاومة الشد يصل الى 22% وكذلك 7.5% وهذا يؤكد ان مقاومة الشد للخرسانة عند عمر 28 يوم تكون أكبر في العينات المغمورة في الماء لان الماء يساعد في الحفاظ على المحتوى المائي بها.

#### ثالثاً اختبار الانحناء

الغرض من هذا الاختبار هو تعيين مقاومة الانحناء للخرسانة او معيار الانكسار لعينات منشورية تحت تحميل رباعي النقاط. تم استخدام عينات بطول 500 ملليمتر ومساحة مقطع 100\*100 ملليمتر وتم اجراء الاختبار طبقا للمواصفات البريطانية ويعمر 28 يوم. بعد تعرض عينات الخرسانة للظروف المناخية الثلاثة كما هو موضح في الجدول رقم 4 (الماء والمعمل والجو الخارجي). النتائج المدونة في الجدول رقم 5 والشكل رقم 7 و 8 تبين متوسط مقاومة الانحناء لعينات الخرسانة العادية والعالية المقاومة حيث أظهرت مقاومة الانحناء للخرسانة العادية نتائجها (4.05-3.80-4.20) MPa وانخفاض في المقاومة حوالي 9%. اما نتائج الخرسانة عالية المقاومة فهي كالتالي (12.2-11.8-13.8) MPa للعينات المغمورة في الماء او المعمل او الجو الخارجي. ونلاحظ ان عندما تترك العينات بدون معالجة تتخضع المقاومة الى قيم حوالي 15% من قيمة المقاومة بالنسبة للعينات المعالجة تحت الماء.

جدول (5) نتائج مقاومة الخرسانة المتصلدة للضغط والشد الغير مباشر والانحناء

نوع العينة	مكان المعالجة	مقاومة الضغط MPa	مقاومة الشد MPa	مقاومة الانحناء MPa
الخرسانة العادية NSC	الماء	56.7	5.30	4.20
	الهواء	51.5	3.60	4.00
	المعمل	51	4.10	3.80
الخرسانة عالية المقاومة HSC	الماء	106.3	9.40	13.80
	الهواء	101	8.80	12.20
	المعمل	99	7.30	11.80

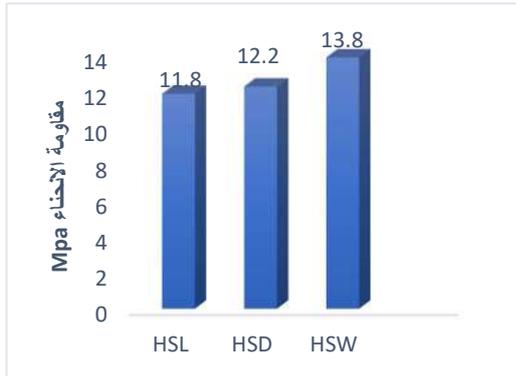


شكل (4) اختبار الضغط للخرسانة

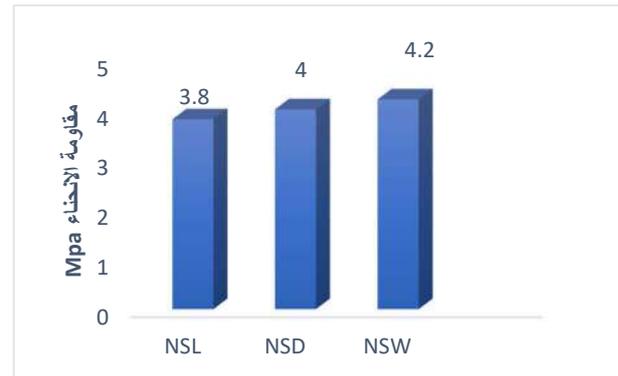
شكل (3) اختبار الضغط للخرسانة العادية  
عالية المقاومة



شكل (6) اختبار الضغط للخرسانة عالية

شكل (5) اختبار الشد للخرسانة العادية  
المقاومة

شكل (8) اختبار الانحناء للخرسانة عالية

شكل (7) اختبار الانحناء للخرسانة العادية  
المقاومة

### الخلاصة

مقاومة الضغط والشد والانحناء للخرسانة عالية المقاومة أعلى من مقاومة الضغط والشد والانحناء للخرسانة العادية مهما اختلفت ظروف المعالجة وهذا يعود الى التركيب الداخلي الكثيف للخرسانة عالية المقاومة فزيادة كمية الاسمنت وانخفاض نسبة الماء وتأثير التفاعل التثائي للسيليكا فيوم أدى الى زيادة تجانس الخرسانة والى نقص مساميتها وترابط مكوناتها وبالتالي الى زيادة مقاومتها.

ان مقاومة الخرسانة العادية وعالية المقاومة عند عمر 28 يوم كانت اعلى ما يكون عند وضع العينات في الماء وتقل مقاومة العينات عند وضعها في المعمل ومقاومة العينات الموضوعة في الجو. وهنا نلاحظ ان اغلب نتائج

المقاومة سواء في الضغط أو الشد أو الانحناء أعطت تناقص ملحوظ عند درجة الحرارة الخارجية وهذا ربما بسبب زيادة نسبة البخر وتأثير الحرارة الخارجية والذي قد يسبب في زيادة مسامية الخرسانة وبالتالي ضعفها

ان المقاومة للخرسانة عالية المقاومة والخرسانة العادية عند عمر 28 يوم كانت اعلى ما يكون عند وضع العينات في الماء وذلك لان الماء يساعد على الحفاظ على المحتوى المائي للخرسانة وبالتالي اكتمال عملية الإماهة بالنسبة للأسمنت. وبالتالي فإن زيادة مقاومة الخرسانة يتوقف على الظروف المحيطة بها فكلما زادت فترة المعالجة في الرطوبة كلما زادت مقاومتها. يوصي هذا البحث بأجراء العديد من التجارب الأخرى وعلى فترات اقل من 28 يوما وذلك للزيادة في التأكيد كما يوصي بأجراء دراسات نمذجة من تضمنين كل العوامل المؤثرة قدر الإمكان.

### المراجع

1. شفق العوضي الوكيل. محمد عبد الله سراج (1989) المناخ وعمارة المناطق الحارة. عالم الكتب. القاهرة
2. ACI 305, ACI 305: 1–14. Guide to Hot Weather Concreting, 2014, American Concrete Institute, Farmington hills, MI, USA.
3. Al-Amoudi O. and Maslehuddin M., R. K. Dhir and M. R. Jones, Concrete protection in aggressive media. A leader paper, Concrete in the Service of Mankind: Concrete Repair, Rehabilitation and Protection, 1996, E & FN Spon, CRC Press, London, UK, 139–154.
4. Al-Gahtani H. J., Abbasi A. G. F., and Al-Amoudi O. S. B., Concrete mixture design for hot weather: experimental and statistical analyses, Magazine of Concrete Research. (1998) 50, no. 2.
5. Al-Abideen H. Z., Concrete practices in the Arabian Peninsula and the Gulf, Materials and Structures. (1998) 31, no. 4, 275–280.
6. Weather F., Concrete Construction in Hot Weather, 1986, Thomas Telford, London, UK.
7. Zeyad A. M., Effect of curing methods in hot weather on the properties of high-strength concretes, Journal of King Saud University–Engineering Sciences. (2017).
8. Aldea C.–M., Young F., Wang K., and Shah S. P., Effects of curing conditions on properties of concrete using slag replacement, Cement and Concrete Research. (2000) 30, no. 3, 465–472.

9. Mohamed H. A., Effect of fly ash and silica fume on compressive strength of self-compacting concrete under different curing conditions, Ain Shams Engineering Journal. (2011) 2, no. 2, 79–86.
10. Kim J. K., Han S. H., and Song Y. C., Effect of temperature and aging on the mechanical properties of concrete: Part I, Cement and Concrete Research. (2002) 32, no. 7, 1087–1094.

# المحور الثاني

## التحليل والتصميم والتنفيذ الإنشائي

## الطويل للتكامل المتناهي وتطبيقها في تحليل مسألة الإنبعاج الجانبي لعارضة

أ. د. مصطفى محمد الطويل

أستاذ شرف الهندسة المدنية

كلية الهندسة - جامعة طرابلس

mmtawil01@gmail.com

### الملخص

تتعرض العوارض المحملة رأسياً إلى الإنبعاج جانبياً إذا ما كانت الصلادة العزمية حول المحور الرأسي لها أقل بدرجة كبيرة من الصلادة العزمية حول المحور الأفقي، الأمر الذي يسبب ليا للقطاع وتغيير المعادلة التحكمية طبقاً لذلك. تعطي الورقة مسألة صياغة المعادلة التفاضلية الناتجة عن تسليط قوة رأسية بمنتصف باع عارضة بسيطة الإرتكاز والمتعرضة لإنبعاج جانبي، مع اعتبار أن تأثير هذه القوة لا يكون عند مركز القص لقطاع مستطيل.

تقدم هذه الورقة خلفية طريقة الطويل للتكامل المتناهي كطريقة للتحليل العددي، ثم يتم تطبيق هذه الطريقة لحل المسألة المشار إليها أعلاه مع اعتبار ثبوت صلاذتي العزم واللي للعارضة موضوع الدراسة واستنتاج القيمة الأيغنية الأصغر لها. تتم مقارنة النتائج المتحصل عليها مع نتائج أخرى متوفرة وتحديد الدقة التي تميز هذه الطريقة المصاغة والمطورة من طرف المؤلف.

كلمات دالة: عارضة، إنبعاج، صلادة، الطويل، التكامل، المتناهي، دقة

### المقدمة

تغطي الورقة تطبيقاً لطريقة التكامل المتناهي، كطريقة للتحليل العددي المصاغة والمطورة من قبل المؤلف، ([1])، في حل مسألة الإنبعاج الجانبي لعارضة بسيطة الإرتكاز مستطيلة القطاع وثابتة صلاذتي العزم واللي تحت تأثير قوة رأسية مركزة بمنتصف الباع وعلى مسافة من مركز القص للقطاع (s). تم صياغة المعادلة التحاكمية لهذا النوع من المسائل في صورتها التفاضلية، ومن ثم تحويلها إلى الصورة التكاملية وحلها باستنتاج القيمة الأيغنية الأدنى لثلاث حالات من نسبة مسافة التأثير (s) إلى طول باع العارضة (L). تقارن النتائج مع تلك المتوفرة في المراجع من جهة والناتجة بتطبيق طريقة التكامل المتناهي الأصلية [3]، من جهة أخرى.

### الطويل للتكامل المتناهي

إذا تم تقريب دالة  $\{f(x)\}$  بمنحنى من الدرجة الثانية:

(1)

$$\{f(x)\} \cong \{ax^2 + bx + c\}$$

حيث  $a$  و  $b$  و  $c$  ثوابت يمكن استنتاجها بدلالة قيم العقد لقسمين متساويي الطول ( $h$ )، وتستنتج التكاملات المتوالية كما يلي:

(2)

$$\{I_1\} \cong (h/12)[N1]\{f\} + \{A_1\}$$

(3)

$$\{I_2\} \cong (h^2/24)[N2]\{f\} + L[x/L]\{A_1\} + \{A_2\}$$

(4)

$$\{I_3\} \cong (h^3/240)[N3]\{f\} + (L^2/2)[(x/L)^2]\{A_1\} + L[x/L]\{A_2\} + \{A_3\}$$

(5)

$$\{I_4\} \cong (h^4/360)[N4]\{f\} + (L^3/6)[(x/L)^3]\{A_1\} + (L^2/2)[(x/L)^2]\{A_2\} + L[x/L]\{A_3\} + \{A_4\}$$

(6)

$$\{I_5\} \cong (h^5/10080)[N5]\{f\} + (L^4/24)[(x/L)^4]\{A_1\} + (L^3/6)[(x/L)^3]\{A_2\} + (L^2/2)[(x/L)^2]\{A_3\} + L[x/L]\{A_4\} + \{A_5\}$$

(7)

$$\{I_6\} \cong (h^6/40320)[N6]\{f\} + (L^5/120)[(x/L)^5]\{A_1\} + (L^4/24)[(x/L)^4]\{A_2\} + (L^3/6)[(x/L)^3]\{A_3\} + (L^2/2)[(x/L)^2]\{A_4\} + L[x/L]\{A_5\} + \{A_6\}$$

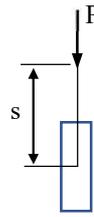
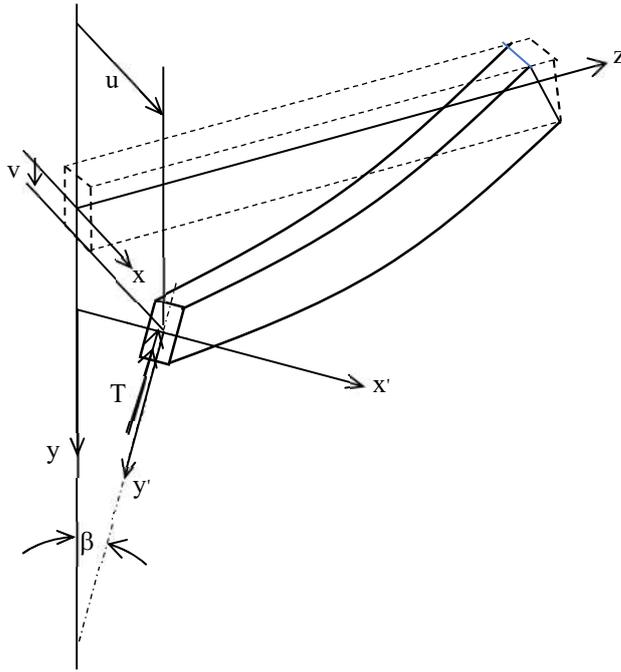
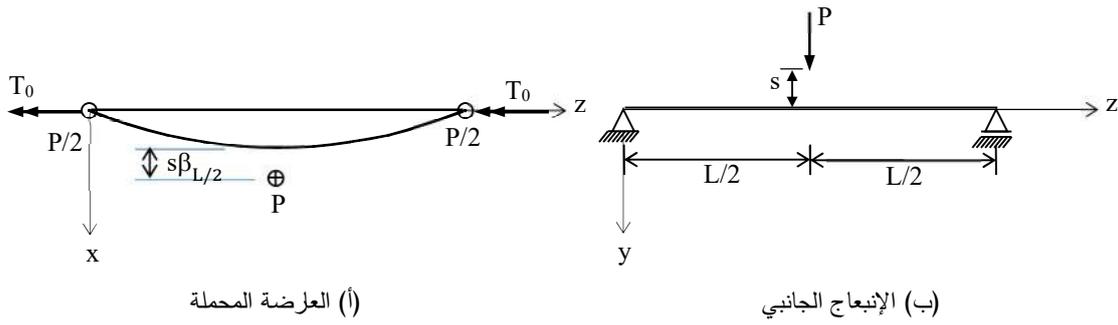
حيث:  $\{A_i\}$  متجه ثوابت التكامل و  $\{I_i\}$  متجه رقم التكامل و  $[N_i]$  مصفوفة التكامل العددي، (i) من 1 إلى 6

$$[(x/L)^i] \text{ مصفوفة قطرية للنسبة } (x/L) \text{ مرفوعة إلى الأس } (j), (j) \text{ من 1 إلى 5}$$

تحدد قيم الثوابت ( $A_i$ ) بمعرفة الحدود الطرفية للمسألة موضوع الدراسة، ويدرج المرجع [4] القيم العددية لعناصر مصفوفات التكامل  $[N_i]$  لعدد 13 عقدة ( $13 \times 13$ )

### مسألة الإنبعاج الجانبي

إذا كانت مقاومة قطاع العارضة في الإتجاه الرأسي ضعيفة جدا مقارنة بالإتجاه الأفقي فقد ينبعج جانبيا تحت تأثير القوى الرأسية، الأمر الذي يسبب قوى لي لجميع القطاعات. الشكل (1) يوضح ظاهرة الإنبعاج الجانبي لعارضة بسيطة الإرتكاز تحت حمل مركز ( $P$ ) بمنتصف الباع يؤثر على مسافة ( $s$ ) فوق مركز قص القطاع.



شكل (1): الإنبعاج الجانبي لعارضة بسيطة الإرتكاز

الرمز  $(\beta)$  يمثل زاوية لي القطاع عند المسافة الأفقية  $(z)$  والرمز  $(\beta_{L/2})$  يمثل زاوية اللي عند منتصف العارضة.  $(T_0)$  تمثل قوة اللي عند كل مرتكز و  $(T)$  قوة اللي عند المسافة  $(z)$ . المعادلة التحكمية التفاضلية لهذه المسألة تأخذ الصيغة الآتية [5]:

$$(8) \quad \frac{d^2u}{dz^2} = - \frac{P^2}{4EI_y GK} \left[ z^2(u_{L/2} + u) - 2z \int_0^z u dz - 4 \left( \frac{EI_y}{P} \right) \left( \frac{s}{L} \right) z^2 \left( \frac{d^2u}{dz^2} \right)_{L/2} \right]$$

## تحويل المعادلة التفاضلية إلى معادلة تكاملية

إذا افترض أن المتجه  $\{d^2u/dz^2\}$  تم تقريبه بمتجه لدالة من الدرجة الثانية  $\{f\}$ ، يتم استنتاج التكاملات المتتالية كما يلي:

$$(9) \quad \left\{ \frac{d^2u}{dz^2} \right\} \cong \{f\}$$

$$(10) \quad \left\{ \frac{du}{dz} \right\} \cong \frac{h}{12} [N1]\{f\} + \{A_1\}$$

$$(11) \quad \{u\} \cong \frac{h^2}{24} [N2]\{f\} + L[z/L]\{A_1\} + \{A_2\}$$

$$(12) \quad \left\{ \int u dz \right\} \cong \frac{h^3}{240} [N3]\{f\} + \frac{L^2}{2} [(z/L)^2]\{A_1\} + L[z/L]\{A_2\} + \{A_3\}$$

من الحدود الطرفية لأشكال القوس المتماثلة:

عند  $(z = 0)$ ،  $(u = 0)$ ، ومن المعادلة (11) يستنتج أن  $(A_2 = 0)$

عند  $(z = L/2)$ ،  $(du/dz = 0)$ ، ومن المعادلة (10) يستنتج أن  $(A_1 = -\frac{h}{12} [N1_{L/2}]\{f\})$

عند  $(z = 0)$ ،  $(\int_0^0 dz = 0)$ ، ومن المعادلة (12) يستنتج أن  $(A_3 = 0)$

وبالتعويض عن هذه في المعادلة (8) تأخذ المعادلة التحكمية الصورة التكاملية التالية:

$$(13) \quad \{f\} = -\frac{p^2}{4EI_yGK} \left[ \begin{array}{l} -\frac{h^3L}{480} [z/L][N3] + \frac{h^2L^2}{24} [(z/L)^2]([N2_{L/2}] + [N2]) \\ -\frac{hL^3}{12} [(z/L)^3][N1_{L/2}] - 4L^2 \left(\frac{EI_y}{P}\right) \left(\frac{S}{L}\right) [(z/L)^2][M01] \end{array} \right] \{f\}$$

حيث:  $[N1_{L/2}]$  مصفوفة متساوية الصفوف لعناصر صف  $(N1)$  المحددة لمنتصف الباع

$[N2_{L/2}]$  مصفوفة متساوية الصفوف لعناصر صف  $(N2)$  المحددة لمنتصف الباع

$[M01]$  مصفوفة كل عناصرها صفرا إلا العمود الأخير فعناصره كلها تساوي 1

بفرض  $(\gamma^2 = \frac{EI_yGK}{P^2L^4})$ ، تكون  $(\frac{EI_y}{P} = \gamma L^2 \sqrt{\frac{EI_y}{GK}})$  ويمكن صياغة المعادلة (13) كالآتي:

$$(14) \quad \gamma^2 \{f\} = [M]\{f\}$$

$$[M] = \frac{1}{1920} (h/L)^3 [z/L][N3] - \frac{1}{96} (h/L)^2 [(z/L)^2]([N2_{L/2}] + [N2])$$

$$(15) \quad + \frac{1}{48} (h/L) [(z/L)^3][N1_{L/2}] + \gamma (s/L) \sqrt{\frac{EI_y}{GK}} [(z/L)^2][M01]$$

المعادلة (15) يمكن وضعها في الصورة التالية:

$$(16) \quad [M] - \gamma^2 [I]\{f\} = \{0\}$$

بإعطاء قيم  $L$  و  $(s/L)$  و  $(L/h)$  وهي عدد التقسيمات الزوجية للطول  $(L)$  و  $\left(\sqrt{\frac{EI_y}{GK}}\right)$ ، وبافتراض قيمة أولية للمعامل  $(\gamma)_i$  والتعويض في المعادلة (15) تحسب عناصر المصفوفة  $[M]$ . ومن محددة المعادلة (16):

$$|[M] - \gamma^2 [I]| = 0 \quad (17)$$

حيث:  $[I]$  مصفوفة الوحدة القطرية.

يتم حساب المعامل الجديد  $(\gamma)_{i+1}$  من المعادلة (17) ويقارن مع سابقه. تعاد العملية حتى تتحقق الدقة المحددة بين القيمتين الأخيرتين لهذا المعامل. ويعبر عن قيمة الحمل الحرج الأدنى  $(P_{cr})$  لهذا النوع من المسائل كما يلي:

$$P_{cr} = \frac{\alpha \sqrt{EI_y GK}}{L^2}$$

حيث  $(\alpha = 1/\gamma)$ . تم تطبيق الحل، بطريقة الطويل للتكامل المتناهي، على نصف الباع نتيجة تماثل إنحناء الإنبعاث لأقل قيمة للحمل الحرج، ويعطي الجدول (1) قيم  $(\alpha)$  لعدد ثلاث نسب من  $(s/L)$  و  $\left(\sqrt{\frac{EI_y}{GK}} = 0.8062\right)$  وبتقسيم الباع إلى 4 و 8 و 12 أقسامًا متساوية، مع نسب الخطأ مقارنة بالقيم التقريبية من المصدر [6]:

$$\alpha \cong 16.94 \left\{ 1 - 1.74 \left(\frac{s}{L}\right) \left(\sqrt{\frac{EI_y}{GK}}\right) \right\}$$

وتلك الناتجة عن الحل بطريقة التكامل المتناهي الأصلية.

وفي دراسة سابقة، تم تحليل المسألة عندما كان الحمل  $(P)$  يؤثر عند مركز قص القطاع (أي أن  $s = 0$ ) [7].

### مناقشة النتائج

تعكس نتائج التحليل بجدول (1) مدى الدقة التي تحققها طريقة الطويل للتكامل المتناهي في معاملات الحمل الحرج لهذا النوع من المسائل، مع ملاحظة أن نسبة الخطأ تزداد بنقصان النسبة  $(s/L)$ . كما تنقص النسبة المئوية، كما هو متوقع، بالزيادة في عدد التقسيمات الزوجية للطول موضوع الدراسة.

جدول (1): معاملات الحمل الحرج ( $\alpha$ ) لنسب من (s/L)

$\alpha$			البيان	عدد التقسيمات
1/30	1/20	1/10	s/L	L/h
16.14789	15.75184	14.56368	التقريبية <sup>[6]</sup>	-
16.63451	16.17354	14.85926	التكامل المتناهي الأصلية	4
3.01	2.68	2.03	الخطأ %	
16.42340	15.97439	14.69290	الطويل للتكامل المتناهي	
1.71	1.41	0.89	الخطأ %	
16.13706	15.71869	14.51258	التكامل المتناهي الأصلية	8
0.07 -	0.21 -	0.35 -	الخطأ %	
16.11940	15.70246	14.49906	الطويل للتكامل المتناهي	
0.18 -	0.31 -	0.44 -	الخطأ %	
16.09830	15.68334	14.48593	التكامل المتناهي الأصلية	12
0.31 -	0.43 -	0.53 -	الخطأ %	
16.09431	15.67971	14.48316	الطويل للتكامل المتناهي	
0.33 -	0.46 -	0.55 -	الخطأ %	

## الخلاصة

قدمت الورقة صياغة طريقة الطويل للتكامل المتناهي رياضياً. وتم تطبيقها في حل مسألة الإنبعاج الجانبي لعارضة بسيطة الإرتكاز، مستطيلة القطاع، ثابتة الصلادتين العزمية والإتوائية، تحت تأثير حمل مركز يؤثر على مسافة رأسية من مركز قص القطاع. أتت نتائج التحليل بهذه الطريقة والتحليل بطريقة التكامل المتناهي الأصلية بدقة جيدة وعالية.

## التوصيات

يوصى بالإستمرار في تحليل عدد من مسائل الميكانيكا الهندسية المختلفة بطريقة الطويل للتكامل المتناهي، وصولاً لاعتمادها كطريقة متقدمة للتحليل العددي للمعادلات التفاضلية العادية الخطية وغير الخطية.

## المراجع

1. Tawil, M.M., Finite integral method (a modified approach). Al Faatih University, bulletin of the faculty of engineering, Libya. 1979; V3 (3): 87–93.
2. Tawil, M.M., 1989. Formulation of the modified finite integral method. Journal of engineering research, Libya. 1989; V1: 3–28.
3. Brown, P.T., Trahair, N.S., Finite integral solution of differential equations. Civil Engineering Transactions, Institution of Engineers, Australia. 1968; CE10 (2): 193–196.
4. مصطفى محمد الطويل، التحليل الإنشائي (3) – طرق المصفوفات، ليبيا، 2019، ص 378–380.
5. Tawil, M. M., The finite integral method applied to some problems of structural mechanics. PhD thesis, university of Colorado, U.S.A. 1976.
6. Timoshenko. S. P. 1961. Theory of elastic stability. McGraw–Hill book co., New York, U.S.A.
7. Tawil, Mustafa M., Solving beam lateral buckling problem using Tawil finite integral method. Second International Conference of Engineering Sciences, Libya, 2024; ICES 2024.

## الرموز

ثوابت	$a, A_i$
ثوابت	$b, c$
معامل يانغ للمرونة	$E$
دالة بالمتغير (x)	$f(x)$
متجه الدالة	$\{f\}$
معامل الصلادة	$G$
طول التقسيمة	$h$

عزم القصور الذاتي حول المحور (y-y)	$I_y$
متجه التكامل (i)	$\{I_i\}$
متجه الوحدة القطرية	$[I]$
عزم القصور الذاتي القطري	$K$
طول باع العارضة	$L$
مصفوفة	$[M]$
مصفوفة التكامل (i)	$[Ni]$
صف من المصفوفة $[Ni]$ عند المسافة $(z=L/2)$	$(Ni_{L/2})$
مصفوفة كل صفوفها متساوية $(Ni_{L/2})$	$[Ni_{L/2}]$
حمل مركز	$P$
قوى اللي	$T, T_0$
الإزاحة في الإتجاه (x)	$u$
الإزاحة في الإتجاه (x) عند المسافة $(z=L/2)$	$u_{L/2}$
الإزاحة في الإتجاه (y)	$v$
محاور كارتيزية	$x, x'$
محاور كارتيزية	$y, y'$
محور كارتيزي	$z$
النسبة $(z/L)$ مرفوعة للأس (i)	$(z/L)^i$
مصفوفة قطرية	$[(z/L)^i]$
معاملات	$\alpha, \gamma$
زاوية الالتواء	$\beta$

## حوائط القص في المباني المرتفعة: الموضع الأمثل، الإرتفاع المؤثر، دراسة مقارنة

مصطفى فرحات قشغش<sup>1</sup>، سماح سعد غيث الأشغب<sup>2</sup>

1- أستاذ مساعد في الهندسة المدنية، جامعة طرابلس، ليبيا

2- مهندس، جامعة طرابلس، ليبيا

M.Ghashghesh@uot.edu.ly

## ملخص

تعرف الزلازل على انها ظاهرة طبيعية فجائية لا يمكن التنبؤ أوالتحكم في حدوثها! غير ان التخوف الحقيقي لا يكمن في حدوثها بقدر مدى جاهزية المنشآت وملائمتها لمقاومة الاحمال الناشئة عنها. تبدأ الزلازل بحركة صفائح القشرة الأرضية، حيث تترجم لاحقاً إلى قوى عندما ينغرس بها جسم صلب والمتمثل في المنشآت بشتى أنواعها. يتناسب مقدار هذه القوى طردياً بزيادة كتلة المبنى.

إن التحكم في مكونات المبنى لمقاومة الزلازل يعتبر التحدي الأكبر، حيث أن شكل مسقط المبنى ووزنه، وبالضرورة عدد طوابقه، هي من أهم العوامل التصميمية لمقاومة أحمال الزلازل. ولعدم إمكانية الاعتماد على المنظومة الإنشائية الأساسية المتمثلة في البلاطات والأعمدة والكمرات فقط لمقاومة هذه الأحمال، تعتبر الأنظمة الإنشائية المستخدمة لجدران القص هي الأعلى فعالية في مقاومة الأحمال الجانبية الناشئة عن الرياح والزلازل. غير ان الأثر السلبي لهذه الجدران يكمن في الأجزاء العليا منها؛ حيث من الممكن أن تكون جدران القص في هذه الأجزاء عبء على المنشأ بدل أن تكون داعمة له.

تتناول هذه الدراسة إثباتاً لمدى فعالية موضع جدران القص داخل المباني على أدائها. يتمثل الأداء موضوع الدراسة في الازاحات الجانبية بالدرجة الاولى، وقوى القص عند مستوى الأساس ثانياً. أُستُخدمت أربع نماذج لبيان السلوك المشار إليه؛ أحدها غير مدعم بجدران قص، بينما الباقي تحتوي على جدران قص في مواضع مختلفة. نماذج المبنى موضوع الدراسة تتكون من 30 طابقاً، تم اعدادها في صورة هياكل ثلاثية الأبعاد باستخدام برمجية الإيتابس (ETABS Software)، حيث عُرضت لحمل زلزالي استخدمت فيه طريقة التحليل الإستاتيكي المكافئة. تُبعت هذه الدراسة بأخرى تكميلية لتحديد الإرتفاع الأمثل لهذه الجدران لكلٍ من حالات الدراسة المشار إليها!

تشير النتائج الأولية الى التأثير المهم لمواضع هذه الجدران داخل المباني على أدائها. كذلك تبين أن الاستمرار بالإرتفاع بها الى مستويات مبالغ فيها، قد يكون له تأثير مدمر على المباني.

## مقدمة

تعد الأنظمة الإنشائية المستخدمة لجدران القص واحدة من أكثر أنظمة مقاومة الأحمال الجانبية شيوعاً في المباني متعددة الطوابق، حيث يتم فيها مقاومة الأحمال الجانبية أساسياً بواسطة الجدران وجزئياً بواسطة الاطارات (الهيكل)؛ حيث توفر جدران القص قوة وصلابة كبيرة للمبنى في اتجاه عملها مما يقلل بشكل كبير من الازاحة الجانبية للمبنى، وبالتالي تقلل من الأضرار التي تلحق بها، وغالباً ما تبدأ هذه الجدران من منسوب الأساسات وتستمر حتى ارتفاع المبنى بالكامل. في هذه الورقة سيتم دراسة الوضع الأمثل لحوائط القص داخل أنظمة جدران القص في المباني متعددة الطوابق المعرضة لأحمال الزلازل. يتم ذلك عبر تزويد المنشأ بعدة نماذج دعم منفصلة، ومن ثم دراسة الارتفاع الفعّال لحوائط القص عبر الإنقاص التدريجي لارتفاعها. في دراسة سابقة قد ثبتت<sup>(1)</sup> أن التقليل في ارتفاع هذه الجدران تقنية فعالة للتقليل من هذا الأثر السلبي. ولزيادة ضمان فاعليتها بشكل كامل، ومع ذلك يجب القيام بهذه العملية بعناية وبشكل صحيح، وفي دراسة أخرى<sup>(2)</sup> تم دراسة مبنى مكون من 10 طوابق بارتفاع كلي 35 م تم الوصول إلى خلاصة مفادها أن تقليل ارتفاع حوائط القص من الأجزاء العليا بدلاً من أن يكون ضاراً. فهو أسلوب تصميم إيجابي للهياكل متوسطة وعالية الارتفاع.

باستخدام برنامج ETABS18.0.2 سيتم نمذجة مبنى هيكلي متعدد الطوابق ومنتظم الشكل سيتم دراسة هذا المبنى بنظام هيكلي مفرد ومن ثم مزدوج عن طريق تدعيمه بجدران قص توضع بشكل متماثل داخل المبنى في كل حالة من حالات الدراسة.

## 1. تحليل المنشآت لمقاومة الزلازل

المبنى موضوع الدراسة، يتكون من 30 طابق، بمساحة 40\*25م. ارتفاع الطابق الأرضي 3.5م، وارتفاع الطوابق المتكررة 3م، حيث يبلغ الارتفاع الكلي للمبنى 90.5م. يوجد ثمانية بحور بين الأعمدة في الاتجاه الطولي، وخمسة بحور في الاتجاه العرضي، طول كل بحر 5م. سمك البلاطة المسطحة 250مم. أبعاد جميع الأعمدة 0.4\*0.4م. سمك جدار القص 0.3م. الحمل الحي 3ك/م<sup>2</sup>. حمل الأرضيات 1.5ك/م<sup>2</sup>.

المبنى عرض لحمل زلزالي، استخدمت فيه طريقة التحليل الاستاتيكية المكافئة المستعملة في المواصفات الأمريكية<sup>(3)</sup> UBC1997، هذه الطريقة تعتمد تحويل القوى الزلزالية إلى قوة استاتيكية مكافئة تؤثر على المنشأ في الاتجاه الأفقي. وتستخدم في حالة المنشآت المتناظرة أو القريبة من المتناظرة التي يكون مقطعها ثابتاً أو شبه ثابتاً على كامل ارتفاعها، يتم فيها حساب القوة الأفقية في منسوب قاعدة المنشأ والتي تعرف بقوة القص القاعدي والتي تعطى بالعلاقة التالية:

$$(1) \dots\dots\dots V = \frac{Z \cdot I \cdot C}{R_w} * W$$

حيث:

=V قوة القص الكلية عند منسوب الأساس

=Z معامل زلزالية المنطقة المقام فيها المنشأ.

=I معامل الأهمية الوظيفية للمبنى.

=C النسبة بين التسارع الأرضي والتسارع الزلزالي.

=Rw معامل يعتمد على نوعية المنظومة الإنشائية.

=W وزن المبنى.

### 1.1 حساب احمال الزلازل:

تم حساب قوة القص القاعدي حيث تم إعتبار المنشأ على انه مبنى سكني عادي؛ حيث تكون قيمة  $I=1$  ، و قيمة  $Z=0.2$  لمنطقة ليبيا، وقيمة  $S=1.2$  ، وقيمة  $R_w=9$  .

$$(2) \dots\dots\dots T = 0.075 * h^{3/4}$$

حيث:

T = الزمن بالثواني.

h = ارتفاع المبنى بالأمتار.

$$T = 0.075 * 90.5^{3/4}$$

$$T = 2.2 \text{ sec}$$

$$(3) \dots\dots\dots C = \frac{1.25 \cdot S}{T^3} \leq 2.75$$

$$C = \frac{1.25 * 1.2}{2.2^3}$$

$$C = 0.887 \leq 2.75 \text{ OK}$$

$$V = \frac{Z * I * C}{R_w} * W$$

$$V = \frac{0.2 * 1 * 0.887}{9} * W$$

$$V = 0.02W$$

### 1.1.1 حساب اوزان المبنى:

سيتم توضيح حساب الأحمال لنموذج (1) والمبين بالشكل (أ/2) تحسب لباقي النماذج بنفس الأسلوب.

$$\text{وزن البلاطة} = 40 * 25 * 0.25 * 24 = 6000 \text{ كن}$$

$$\text{وزن الأرضيات} = 1.5 * 25 * 40 = 1500 \text{ كن}$$

$$\text{وزن الأعمدة} = 0.4 * 0.4 * 24 * 54 = 207.36 \text{ كن/م} - \text{ارتفاع}$$

$$\text{وزن الدور الأول} = 6000 + 1500 + \left(3.5 + \frac{3}{2}\right) * 207.36 = 8173.92 \text{ كن}$$

$$\text{وزن الادوار المتكررة} = 6000 + 1500 + (207.36 * 3) = 8122.08 \text{ كن}$$

$$\text{وزن الدور الاخير} = 6000 + 1500 + (207.36 * 1.5) = 7811.04 \text{ كن}$$

$$\text{الوزن الكلي للمبنى} = 8173.92 + (8122.08 * 28) + 78110.4 = 243403.2 \text{ كن}$$

$$\text{حيث تكون قيمة قوة القص} = 0.02 * 243403.2 = 5427.89 \text{ كن}$$

يوضح الجدول (1) نتائج لوزن المبنى وقوة القص المتحصل عليها من برنامج **ETABS**.

جدول (1): نتائج برنامج Etabs قوة القص ووزن المبنى

Direction	W(kn)	V(kn)
X	242403.2	5427.8914
Y	243403.2	5427.8914

### 2.1.1 توزيع قوة القص على كل طابق:

يتم توزيع قوة القص  $V$  على المبنى حسب ارتفاع الطابق ووزن كتلته طبقاً للمعادلة التالية:

$$(4) \dots \dots \dots Fx = \frac{(V-Ft) * Wx * hx}{\sum_{i=1}^n Wi * hi}$$

حيث:

$Fx$  = القوة الجانبية المؤثرة على المنسوب  $X$ .

$Wx$  = وزن الكتلة المركزة عند المنسوب  $X$ .

$hx$  = ارتفاع الطابق عند المنسوب  $X$  عن سطح الأرض.

$Ft$  = قوة القص الإضافية عند قمة المبنى

### 3.1.1 حساب القوة $Ft$ :

$$(5) \dots \dots \dots Ft = 0.07VT \leq 0.025v$$

في حالة زمن التذبذب للمبنى  $T > 0.7$

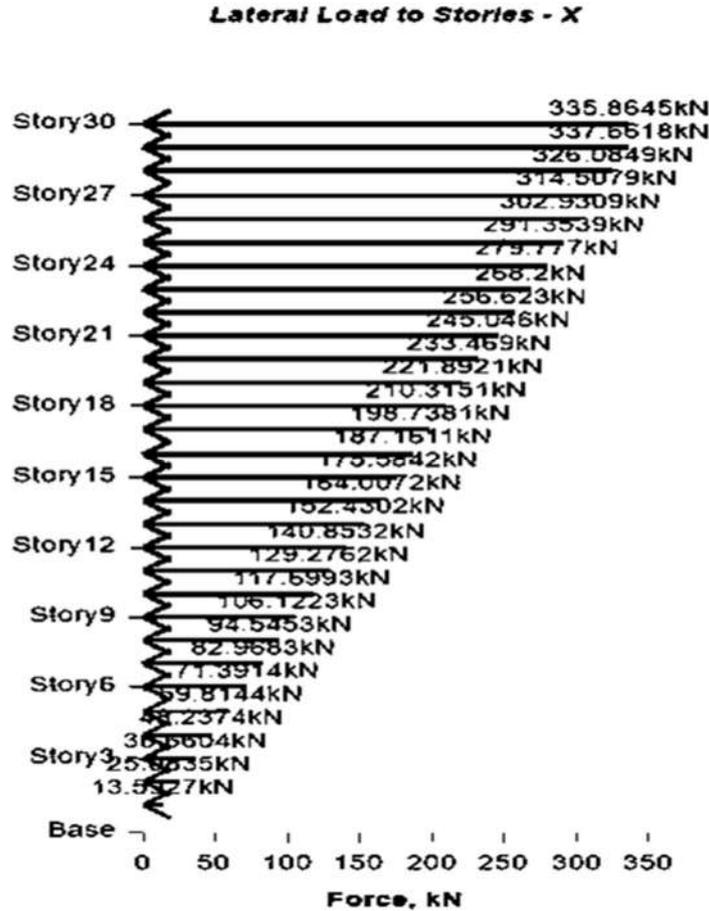
$$(6) \dots \dots \dots Ft = 0.07VT \leq 0.025v$$

وفي حالة زمن التذبذب للمبنى  $T < 0.7$

$Ft = 0$

$$Ft = 0.07 * 5427.89 * 0.02 = 835.89 \text{ كن}$$

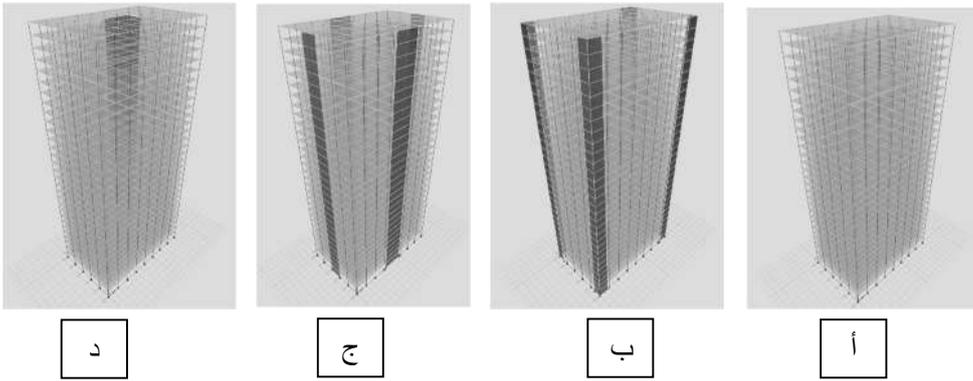
يبين الشكل (1) نتائج برنامج ETABS لتوزيع قوى القص على الطوابق حيث يتم إضافة القوة Ft وتوزيعها على كل طابق..



الشكل (1) توزيع قوى القص

## 1.2 تحديد الموقع الأمثل لجدران القص:

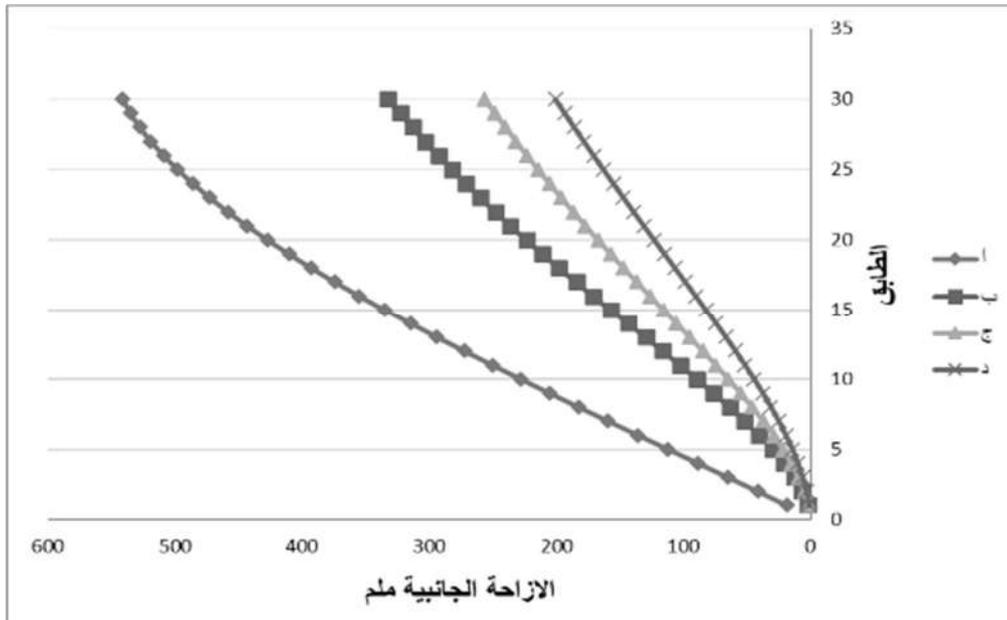
كما دُكر سابقاً، فقد تم اعتماد اربعة نماذج وقد تم التعامل معها بواسطة برنامج Etabs؛ النموذج أ لا يحتوي على حائط قص، بينما باقي النماذج وزعت بها حوائط القص في اماكن مختلفة كما هو موضح بالشكل (2).



الشكل (2) نماذج الدراسة

## 1.1.2 الإزاحة الجانبية في النماذج الأربعة:

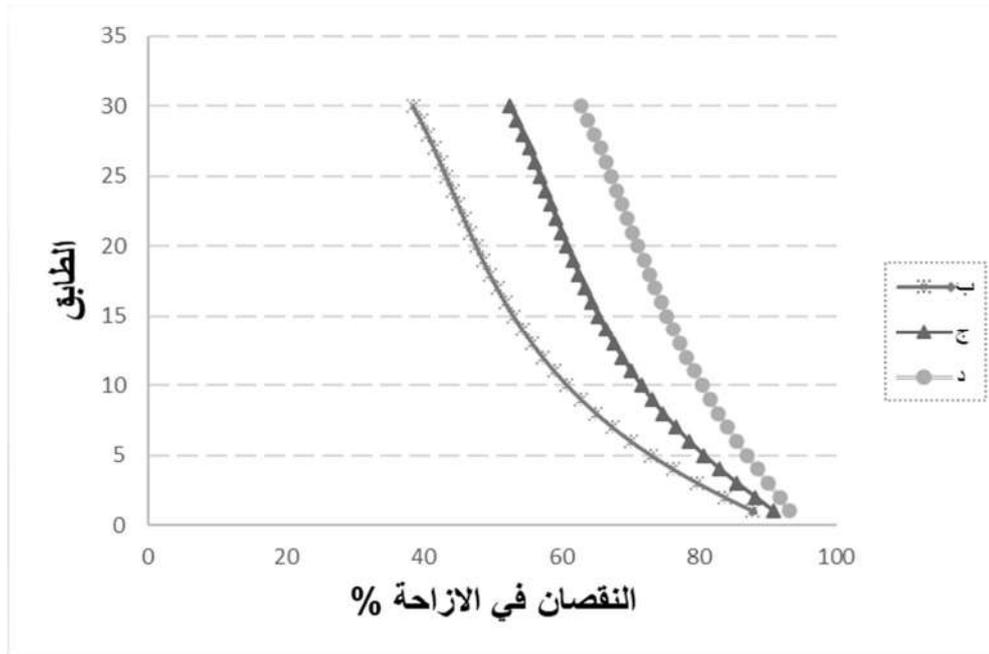
من الشكل (3) نلاحظ ان الإزاحة الجانبية في كل النماذج تزداد كلما زاد عدد الطوابق؛ اي انها تتناسب طرديا مع ارتفاع المبنى. ويعطي النموذج (أ) أكبر قيم للإزاحة الجانبية على كامل المبنى، بينما يعطي النموذج (د) اقل قيم للإزاحة الجانبية يليه النموذج (ج) ومن ثم النموذج (ب).



الشكل (3) الإزاحة الجانبية

## 2.1.2 نسب الاختلاف في الإزاحة الجانبية عن النموذج (أ) :

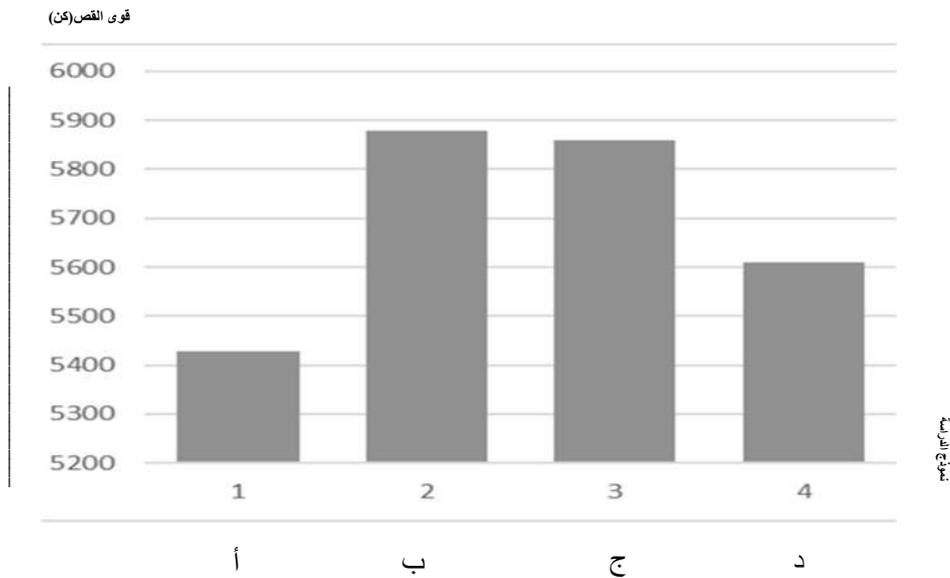
في الشكل (4) تم مقارنة النماذج ب، ج، د، مع النموذج أ الذي لا يحتوي على حائط قص، ووجد ان النموذج د يعطي أكبر نسبة لنقصان الإزاحة عن النموذج أ بنسبة 76%، يليه النموذج ج بنسبة 67%، ومن ثم النموذج ب بنسبة 56%؛ وهنا نجد ان هناك فرق واضح بين النماذج الثلاثة التي تحتوي على حوائط قص.



الشكل (4) نسب الإختلاف في الإزاحة

## 3.1.2 قيم قوى القص القاعدي عند منسوب الأساس للنماذج الأربعة:

في الشكل (5) نلاحظ ان قيم القص القاعدي للنموذج أ منخفضة مقارنة بالنماذج الثلاثة الأخرى؛ لعدم احتوائه على جدران قص، حيث تزداد قيمة قوى القص بزيادة كتلة المبنى.

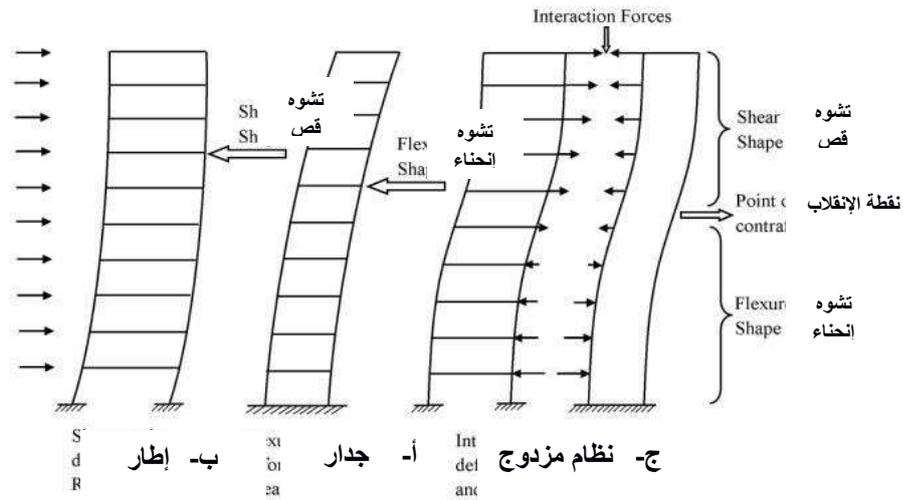


الشكل (5) قوى القص القاعدي

### 1.3 نظرية تقليل ارتفاع حوائط القص

يختلف شكل التشوه في كل من الاطارات وحوائط القص تحت تأثير القوى الجانبية؛ حيث يأخذ حائط القص طابع تشوهي متأثراً بالانحناء (**Flexural Shape**) كما في الشكل (6.ب)، بينما تأخذ الاطارات طابع تشوهي متأثراً بالقص (**Shear Shape**) كما في الشكل (6.أ).

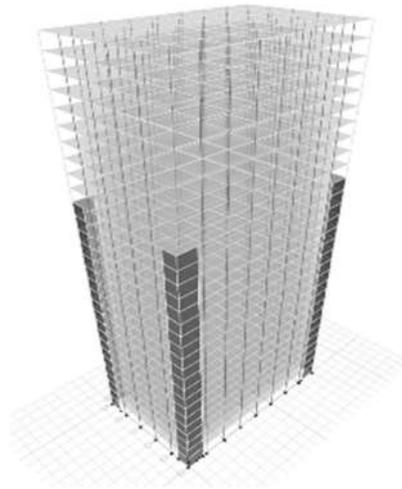
اما بالنسبة للنظام المزدوج للحوائط والاطارات فانه يأخذ شكل تشوهي مختلف كما في الشكل (6.ج)، عن تشوه كل منهما على حدي نتيجة لتقييد الانحراف بشكل متماثل عن طريق الصلابة الداخلية للبلاطات، فالنظام المزدوج له شكل تشوهي متأثراً بالانحناء (**Flexural Shape**) في الجزء السفلي، وشكل تشوهي متأثراً بالقص (**Shear Shape**) في الجزء العلوي.



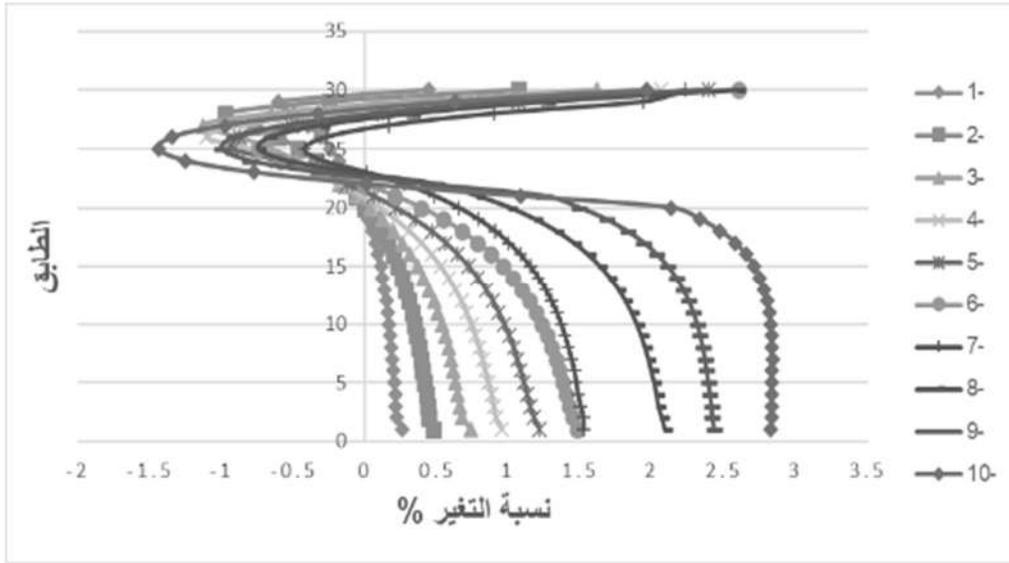
الشكل (6) سلوك النظام المزدوج تحت تأثير القوى الجانبية

### 1.1.3 تحديد أقصى ارتفاع فعال لجدران القص

كما ذكر سلفاً، يتم تقليص جدران القص تدريجياً من أعلى المبنى، يوضح الشكل (7) النموذج (ب) بعد تقليص ارتفاع جدار القص، بحيث يتم في كل مرة تخفيض ارتفاعها طبق تلو الطابق من الأعلى حتى يتم الوصول الى اجمالي عشرة طوابق.



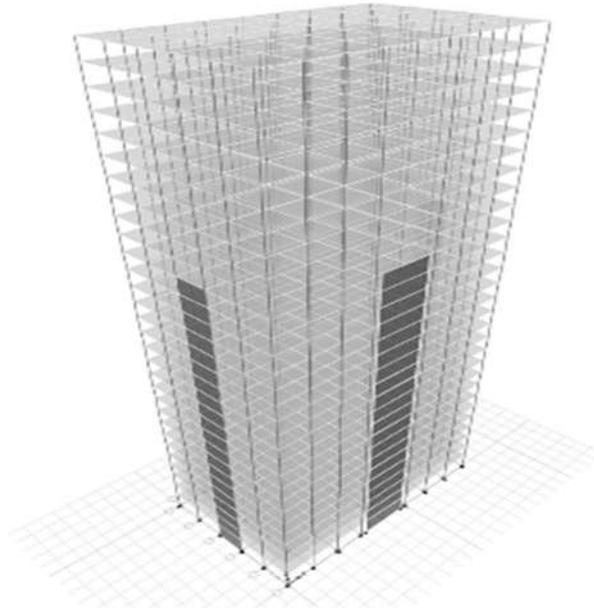
الشكل (7) النموذج (ب) بعد تقليص جدار القص



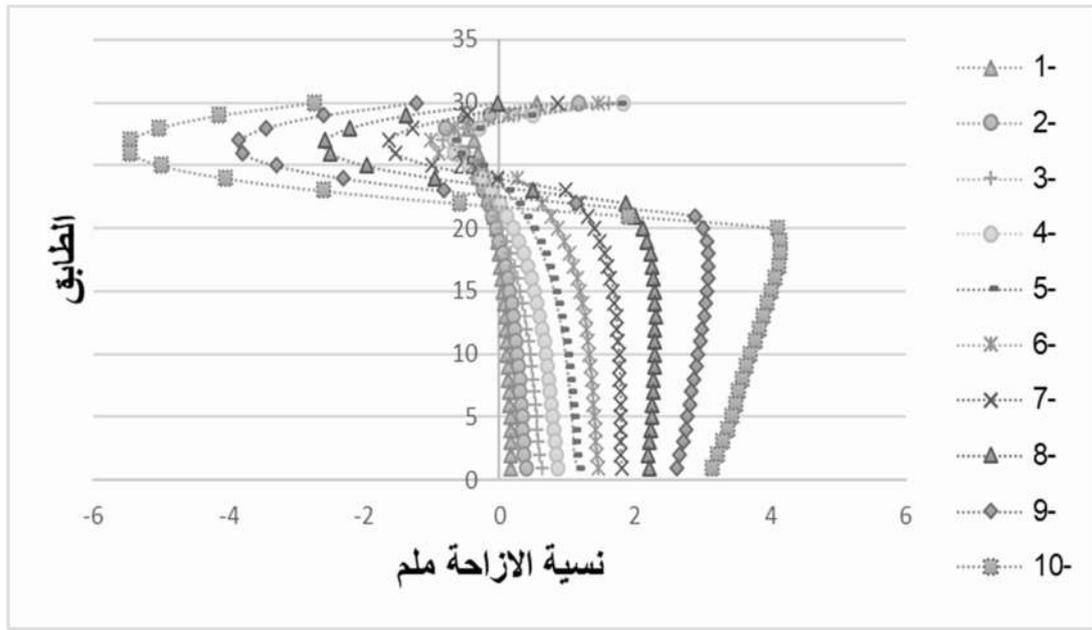
الشكل (8) نسبة التغير في الإزاحة للنموذج (ب)

يلاحظ في الشكل (8)، ان نسبة التغير تزيد مع تقليص جدران القص، والتي تدل على ان الإزاحة تقل كلما انخفض ارتفاع جدار القص للطوابق تحت ال20، غير انه يترتب عليه ان هذه النسبة تقل اي تصبح بالسالب؛ مما يترتب عليها زيادة في الإزاحة للطوابق فوق ال20 التي تم ازالة جدران القص منها.

يوضح الشكل (9) النموذج (ج) بعد تقليص ارتفاع جدار القص، بحيث يتم في كل مرة تخفيض إرتفاعها طابق تلو الطابق من الأعلى حتى يتم الوصول الى اجمالي عشرة طوابق.



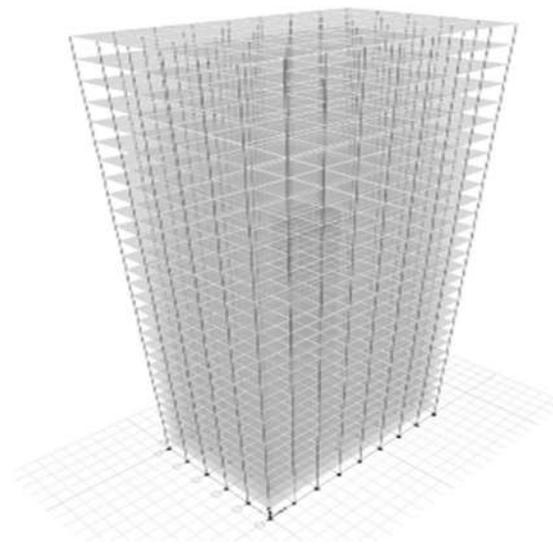
الشكل (9) النموذج (ج) بعد تقليص جدار القص



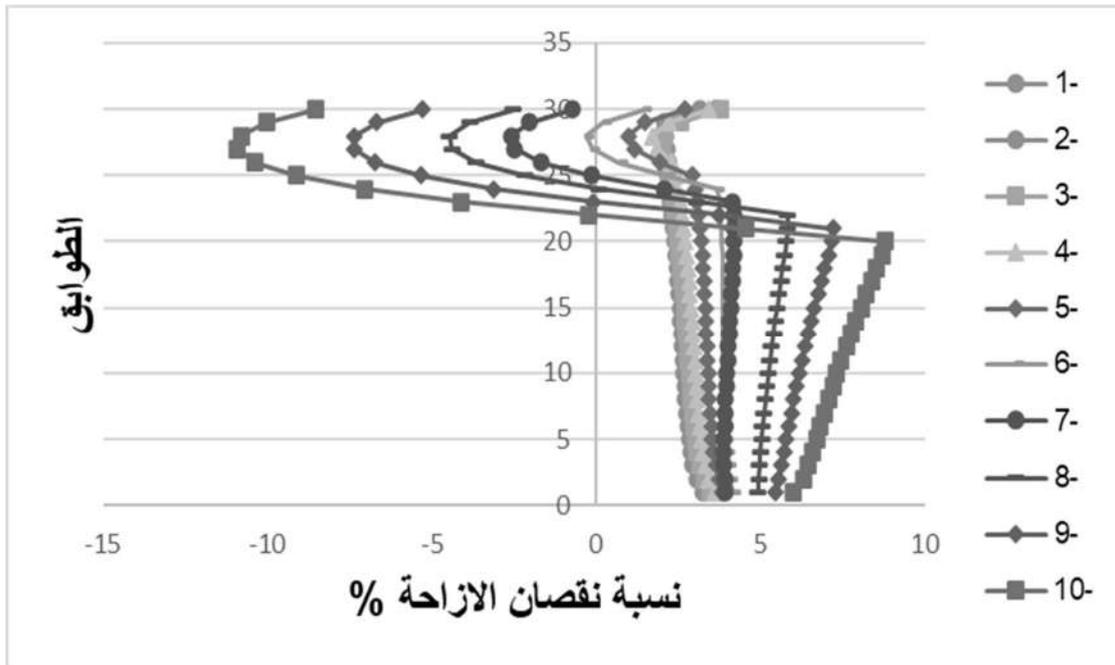
الشكل (10) نسبة التغير في الإزاحة للنموذج (ج)

على غرار الشكل (8) نلاحظ في الشكل (10) ان نسبة التغير تزيد مع تقليص جدران القص، والتي تدل على ان الإزاحة تقل كلما انخفض ارتفاع جدار القص للطوابق تحت ال20، غير انه يترتب عليه ان هذه النسبة تقل اي تصبح بالسالب؛ مما يترتب عليها زيادة في الإزاحة للطوابق فوق ال20 التي تم ازالة جدران القص منها.

يوضح الشكل (11) النموذج (د) بعد تقليص ارتفاع جدار القص، بحيث يتم في كل مرة تخفيض إرتفاعها طابق تلو الطابق من الأعلى حتى يتم الوصول الى اجمالي عشرة طوابق



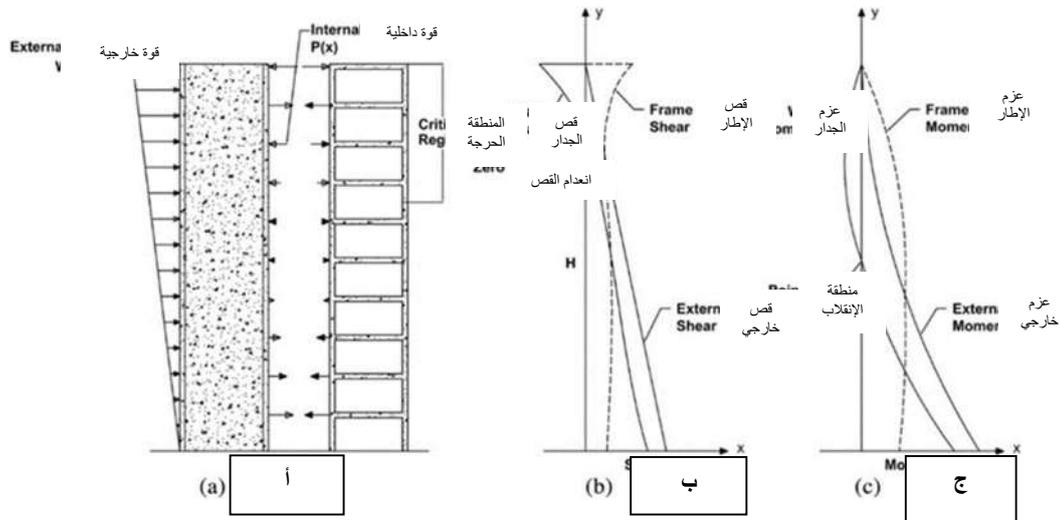
الشكل (11) النموذج (د) بعد تقليص جدار القص



الشكل (12) نسبة التغير في الإزاحة للنموذج (د)

وعلى عكس النموذجين السابقين نلاحظ في الشكل (12) انه عند التخفيض في ارتفاع جدران القص وحتى الطابق الخامس، تقل الإزاحة على كامل المبنى دون الوجود لأي طابق تزداد فيه قيمة الإزاحة، هذا ما لم يتحصّل عليه في النموذجين (ب)، و (ج). كما نلاحظ انه وعند الوصول الى الطابق الخامس يتحصل الحصول على اعلى نسبة للتغير في الإزاحة، وتعود النسبة للنقصان بزيادة عدد الطوابق التي تم ازلتها من حوائط القص.

وبالإشارة الي سلوك النظام المزدوج، فان الجزء العلوي من الإطار الذي يقع فوق نقطة انقلاب الانحراف يكون وبالإضافة للعزم الخارجي المطبق عليه، معرضاً لعزم اضافي معاكس متولداً عن حائط القص. ان هذا الجزء من النظام يؤثر حائط القص بشكل سلبي في مقاومة العزم كما موضح في الشكل (13.ج). كذلك بالنسبة للقوة القصية؛ حيث يكون الإطار في الجزء العلوي فوق نقطة انعدام القص للجدار يتحمل قوة قص أكبر من قوة القص الخارجية وذلك نتيجة قوة القص السالبة الناتجة عن حائط القص كما في الشكل (13.ب)، وبالتالي فان حوائط القص في هذا الجزء تؤثر بشكل سلبي على مقاومة قوة القص. عليه، يمكن تقليل سمك جدار القص او ازالته من بعض الاجزاء العليا للمبنى لتقليل قوة القص والعزم السالبان اللذان ينتجان عن حائط القص في هذه الاجزاء، وذلك لتقليل الاحمال على الاطارات لتصبح متساوية مع الاحمال الخارجية.



الشكل (13) مخطط قوى القص والعزم للنظام المزدوج

## الاستنتاجات

1. الهياكل التي لا تحتوي على حوائط القص تكون لها ازاحات جانبية كبيرة ناتجة عن قوة الزلازل مما يشكل خطر على المنشأ.
2. توفر جدران القص صلابة وجساءة كبيرة للمبنى مما يقلل من الإزاحة الجانبية له عند تعرضه لأحمال الزلازل.
3. يعطي النموذج د أفضل نتائج من حيث الإزاحة حيث يعطي نتائج أفضل بنسبة 76% عن النموذج أ الذي لا يحتوي على حائط قص.
4. تكون حوائط القص ذات فعالية أكثر للمبنى من حيث الصلابة ومقاومة الإزاحة الجانبية كلما كانت قريبة من مركز كتلة المنشأ ومتصلة ببعض.
5. تكون جدران القص في الأجزاء العليا من المنشأ عبء عليه بدل ان تكون داعمة له.
6. يمكن تقليل سمك حوائط القص أو تقلبصها من الأجزاء العليا من المنشأ وذلك لتوفير المرونة لمقاومة احمال الزلازل.
7. ان مقدار السماحية للوقوف بإرتفاع جدران القص تكن في الجزء ما بين نقطة إنعدام القص ومنطقة الانقلاب للعزم.
8. النموذج (د) يعطي أفضل نتائج عند التخفيض في ارتفاع حوائط القص، حيث يمكن التخفيض فيها حتى الوصول الى 83% من ارتفاع المنشأ والحصول على ازاحة جانبية اقل بحوالي 4% نسبة الى الارتفاع الكامل.

## المراجع

1. Nollet, M. J. ,1991. –Behavior Of Wall–Frame Structures: A Study of the Interactive Behavior Of Continuous And Discontinuous Wall–Frame Structures. Ph.D. thesis, McGill University, Montreal, Canada.
2. Bhatt, G., Titiksh, A., Rajepandhare, P. (2017). Effect of curtailment of shear walls for medium rise structures (pp. 501–507). 2nd International Conference on Sustainable Computing Techniques in Engineering, Science and Management (SCESM–2017). India: ResearchGate.
3. UBC 97–Uniform Building Code 1997, International Conference of Building Officials, California FL.
4. Kanchan Rana, Vikas Mehta –Seismic Analysis of RCC Building with Shear Wall at Different Locations Using STAAD Pro. International Journal of Civil and Structural Engineering Research ISSN 2348–7607 (Online) Vol. 5, Issue 1, pp: (51–56), Month: April – September 2017, Available at: [www.researchpublish.com](http://www.researchpublish.com)
5. د.م إحسان الطشة، م. حيدر الخضور دراسة سلوك الجمل المختلطة ذات جدران القص غير المستمرة باستخدام تحليل ستاتيكي لا خطي (2019).
6. Thearith Chen – Effective Positions and Optimum Level of The Curtailment of Structural Walls in High–Rise Wall–Frame Reinforced Concrete Structures Under Seismic Loading. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Civil, Transportation and Geo–resources Engineering Suranaree University of Technology Academic Year 2019
7. Atik, M., Badawi, M. M., & Shahrour, I. (2011). The Optimum Level for Wall Curtailment in Wall–Frame Structures to Resist Lateral Loads. J. Struct. Eng, 1–7.
8. م. سماح غيث، حوائط القص في المباني متوسطة الارتفاع: الموضع الأمثل، والإرتفاع المؤثر، دراسة مقارنة – قسم الهندسة المدنية – جامعة طرابلس (2022)

## تعزيز الاستقرار الهيكلي: التحليل العددي لتقليل تشوه الكمرات

د. بشير صالح، م. مروة بن عروس، م. شيماء كعيم

الأكاديمية الليبية للدراسات العليا

bashir.saleh@academy.edu.ly

### 1 الملخص:

هدفت هذه الدراسة إلى فهم وتحليل ظاهرة الترخيم (deflection) في الكمرات والبلاطات الخرسانية المسلحة، والتي تعد أمراً أساسياً في مجال هندسة الإنشاءات بسبب تأثيرها المباشر على استقرار وقوة المنشآت. تم تقسيم العوامل المؤثرة في الترخيم إلى عوامل معروفة قبل البناء وعوامل غير معروفة، مع التأكيد على أن العوامل الغير معروفة غالباً ما تكون الأكثر تأثيراً. تشمل هذه العوامل أخطاء في حسابات التصميم، أحمال خدمة والاستثنائية (service and exceptional loads)، أخطاء في التنفيذ، وتأثيرات الزحف والانكماش.

خلال زيارة ميدانية إلى مشروع صيانة ملعب طرابلس الدولي، تم رصد حالات تشوه في الكمرات، حيث لم تمنع زيادة كمية الحديد من حدوث هذه التشوهات. يمكن تقييم الترخيم من خلال حسابات دقيقة تأخذ في اعتبارها الأحمال الفعلية والعوامل المؤثرة الأخرى، مع استخدام نماذج العناصر المحدودة لفهم سلوك الكمرات تحت أحمال خدمة واستثنائية، سواء في مناطق الشد أو الضغط. الحلول السابقة لتقليل التشوهات شملت زيادة ارتفاع الكمر، استخدام مواد ذات قوة أعلى، تحسين توزيع الأحمال، وزيادة التسليح.

في هذه الدراسة، نستخدم تطبيقات العناصر المتناهية لإيجاد حلول بديلة لتحسين أداء الكمرات وتقليل التشوهات والشقوق (deformations and cracks) المرتبطة بها، باستخدام برمجية متخصصة في التحليل والمحاكاة. ABAQUS وبالتالي، نسعى في هذا البحث إلى تطوير حلول فعالة واقتصادية تعزز من أداء الكمرات وتقلل من التشوهات والتشققات الناتجة عن الأحمال المختلفة، مما يساهم في تعزيز المعايير الدولية في التصميم الإنشائي وتحديثها وتطويرها.

الكلمات الدالة: ترخيم، Finite Element Method (FEM)، ترخيم الكمرات، المتانة الهيكلية، ABAQUS

#### 1.1.1.1 المقدمة

تعدّ دراسة ترخيم (deflection) الكمرات (beams) والبلاطات الخرسانية المسلحة (reinforced concrete slabs) قضية حيوية في مجال هندسة الإنشاءات ((structural engineering)، لما لها من تأثير مباشر على السلامة (safety) والمتانة الهيكلية (structural integrity) للمنشآت. تؤثر عدة عوامل على ترخيم هذه العناصر الإنشائية، ويجب تقييمها بدقة خلال مراحل التصميم (design phases) والبناء (construction phases). يمكن تقسيم هذه العوامل إلى مجموعتين رئيسيتين: العوامل المعروفة قبل البناء (pre-construction factors)،

والعوامل غير المعروفة قبل البناء (post-construction factors). وغالبًا ما تكون العوامل غير المعروفة أكثر تأثيرًا، مما يبرز أهمية التقييم الشامل والدقيق خلال مراحل التصميم والتنفيذ (implementation).

خلال زيارة ميدانية لمشاريع متعددة داخل ليبيا، تم تسجيل حالات متعددة للتشوه (deformation) في الكمرات، حيث لم تمنع زيادة كمية الحديد في بعضها من حدوث هذه التشوهات [1]. يُظهر الشكل 1 بعض الحالات التي تعرضت للانتهيار (collapse) (نتيجة الترخيم). يمكن تقييم الترخيم في الكمرات والبلاطات من خلال حسابات دقيقة (accurate calculations) تأخذ في الاعتبار القيم الواقعية القصوى والدنيا للعوامل المؤثرة، مثل أخطاء في حساب الترخيم (errors in deflection calculation) والأحمال (loads)، الأخطاء التنفيذية (construction errors)، وتأثيرات الزحف (creep) والانكماش (shrinkage) [2].

عادةً ما تُجرى الحسابات الإنشائية (structural calculations) بواسطة المهندسين، مما يزيد من احتمالية وجود أخطاء حسابية (computational errors)، حيث يمكن أن تصل نسبة الأخطاء في الحسابات النهائية إلى حوالي 10%، بينما تعتبر الأخطاء بنسبة تتراوح بين 25-50% غير شائعة [3]. يمكن تقليل التعقيدات في حساب الترخيم باستخدام البرمجيات المتخصصة (specialized software) التي تأخذ في الاعتبار جميع العوامل المؤثرة وتوفر حسابات دقيقة (accurate calculations) وتوقعات موثوقة (reliable predictions) تحت مجموعة واسعة من الظروف المختلفة [4].



شكل 1: كمرة تعرضت لتشوه أني بعد إزالة الشدة الخشبية

من الضروري أيضًا أخذ تاريخ وزمن بداية التحميل (load history and timing) في الاعتبار، حيث تؤثر هذه العوامل على الترخيم الفوري (immediate deflection)، واستخدام الأحمال الفعلية (actual loads) بدلاً من الأحمال التصميمية [5] (design loads) هناك العديد من العوامل التي تؤثر على الزحف والانكماش، بما في ذلك عمر التحميل (load age)، الحد الأدنى من السماكة (minimum thickness)، الرطوبة النسبية (relative humidity)، نسبة الحجم إلى السطح (volume-to-surface ratio)، محتوى مادة الأسمنت (cement content)، نوع الركام (aggregate type)، محتوى الهواء (air content)، درجة الحرارة المحيطة (ambient temperature)، والإضافات (admixtures)، وقد تمت مناقشة هذه العوامل بشكل مفصل في الكود الأوروبي (Eurocode) [6].

لتجنب الترخيم المفرط (excessive deflection) في الكمرات، يجب دراسة سلوكها تحت تأثير مختلف العوامل مثل تغير أو زيادة الأحمال، تأثير عمر المبنى (building age effect)، وتآكل حديد التسليح (reinforcement corrosion) [7]. يمكن النظر في الحلول التالية: زيادة ارتفاع الكمرات (beam height increase)، استخدام مواد ذات مقاومة أعلى (higher strength materials)، تحسين توزيع الأحمال (load distribution improvement)، إضافة دعائم وسطية (adding intermediate supports)، وزيادة تسليح الكمرات (reinforcement increase) [8]. يمكن تحسين أداء الكمرات وتقليل مقدار التشوهات الناتجة عن الأحمال المختلفة.

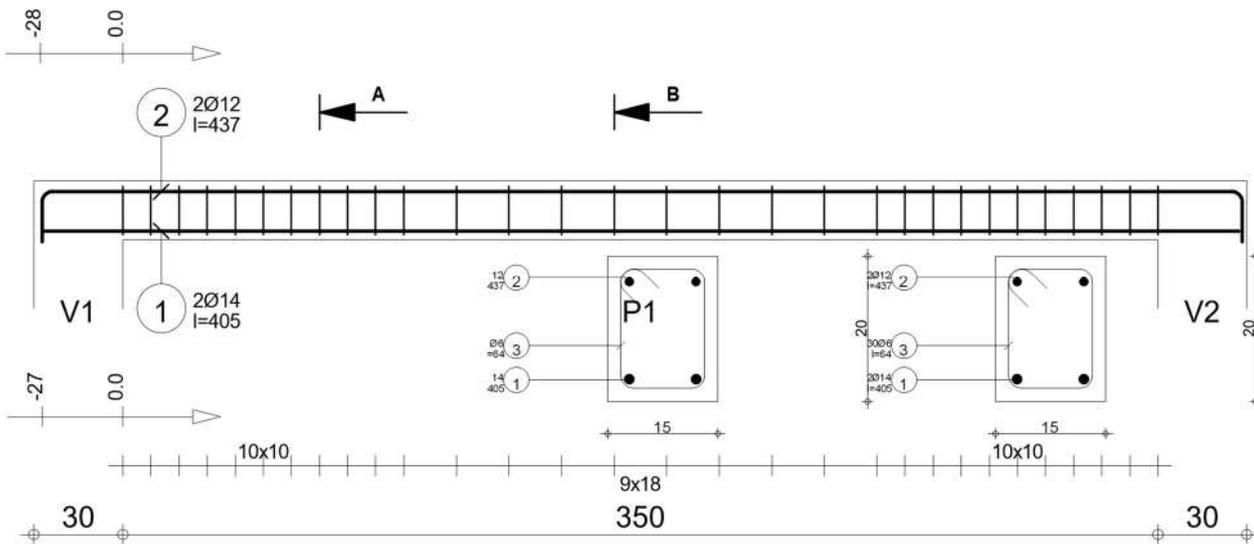
تهدف هذه الدراسة إلى إيجاد حلول أكثر نجاعة (effective solutions) واقتصادية تتغلب على الحلول التقليدية المشار إليها في المعايير الدولية التصميمية. لاختبار تأثير هذه العوامل، سيتم استخدام نموذج عددي وتحليلي (numerical and analytical model) باستخدام طريقة العناصر المتناهية (Finite Element Method) (FEM - إجراء محاكاة modeling) (simulation) لمجموعة من الكمرات ذات أطوال ومقاطع مختلفة. يوضح الشكل 2 نموذجًا لإحدى الكمرات المصممة باستخدام برنامج Robot Structural Analysis Professional 2024 [15]، حيث تتم مقارنة النتائج العددية (numerical results) بالنتائج التحليلية (analytical results) والتجريبية (experimental results) بهدف تقليل مقدار الترخيم والتشوه في الكمرات [9].

تهدف هذه الدراسة العددية (numerical study) إلى معرفة تأثير العوامل المختلفة وإيجاد الحلول التصميمية المناسبة، بما في ذلك إعادة توزيع حديد التسليح داخل الكمرات سواء في مناطق الشد (tension zones) أو مناطق الضغط (compression zones)، ومعرفة تصرف الكمرات تحت تأثير الأحمال أو الإزاحة (displacement) لتقليل التشوه وتجنب الصيانة المكلفة (costly maintenance) أو إزالة المبنى بالكامل [10]. تُعد مشكلة الترخيم وتأثيرها على سلامة المبنى والمستخدمين من الأمور الأساسية التي يجب دراستها باستخدام الإمكانيات التقنية المتوفرة في البرمجيات الحديثة، للوصول إلى نتائج موثوقة وواحدة [11، 12، 13].

## 1.1.1.2 النمذجة الرياضية

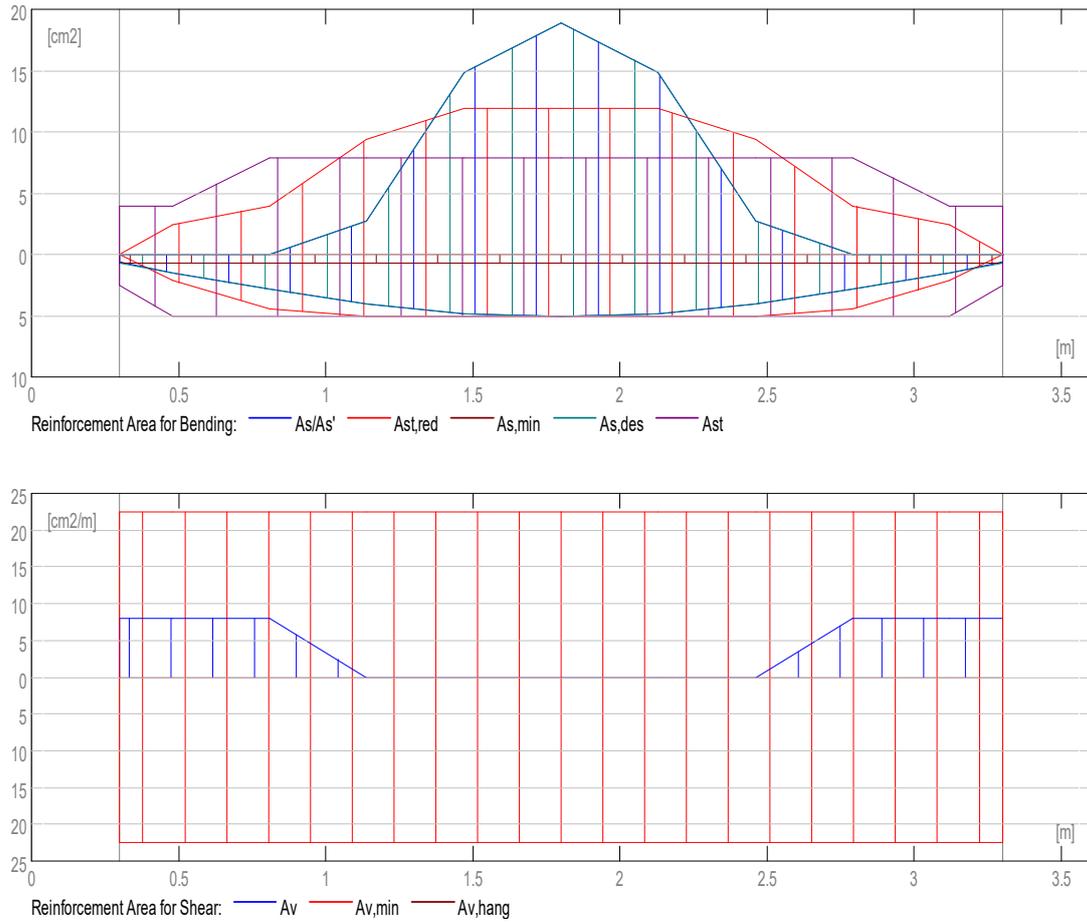
## (1) 1.2 التحليل والتصميم الإنشائي للكمرة (B1)

لتحديد مقدار التشوه (deformation) وإجراء تحقيق شامل للكمرات المعرضة للتشوه (deformation) وفهم سلوكها أثناء التحميل سواء تحت أحمال الخدمة (service loads) أو الأحمال الاستثنائية (exceptional loads) باستخدام نظرية العناصر المتناهية (Finite Element Method – FEM)، يتطلب الأمر أولاً معرفة مقدار التشوه (deformation) في الكمرات. لهذا الغرض، تم اختيار نموذجين من الكمرات لتحليلهما وتصميمهما إنشائياً وفقاً لمعايير الكود الأوروبي [6] (Eurocodes) تختلف الكمرتان في الأبعاد، حيث يبلغ طول الكمرة B1 ثلاثة أمتار، بينما يبلغ طول الكمرة B2 أربعة أمتار. تم اختيار أبعاد مقاطع الكمرات بناءً على المتطلبات الإنشائية (structural requirements) والمتانة المطلوبة (required durability) لكل كمرة. أبعاد مقطع الكمرة B1 هي  $0.2 \times 0.15$  متر، في حين أن أبعاد مقطع الكمرة B2 تبلغ  $0.3 \times 0.15$  متر. يوضح الشكل 2 مقطعاً طولياً (longitudinal section) في الكمرة B1، موضحاً فيه حديد التسليح (reinforcement steel) وأبعاد المقاطع والتسليح.



شكل 1 : يوضح مقطع طولى في الكمرة B1 موضح فيها حديد التسليح والابعاد المقاطع والتسليح

تم تصميم الكمرتين لتحمل نوعين من الأحمال: الأحمال الحية (live loads) والأحمال الميتة (dead loads). تمثل الأحمال الحية (live loads) الأحمال المتغيرة نتيجة استخدام المبنى، مثل الأشخاص والأثاث والمركبات، وتقدر بـ 10 كيلو نيوتن/متر لكل من الكمرتين B1 و B2. أما الأحمال الميتة (dead loads) فهي الأحمال الثابتة الناتجة عن وزن العناصر الإنشائية نفسها كالخرسانة والفولاذ. يوضح الشكل 3 تفاصيل حديد التسليح (reinforcement steel).



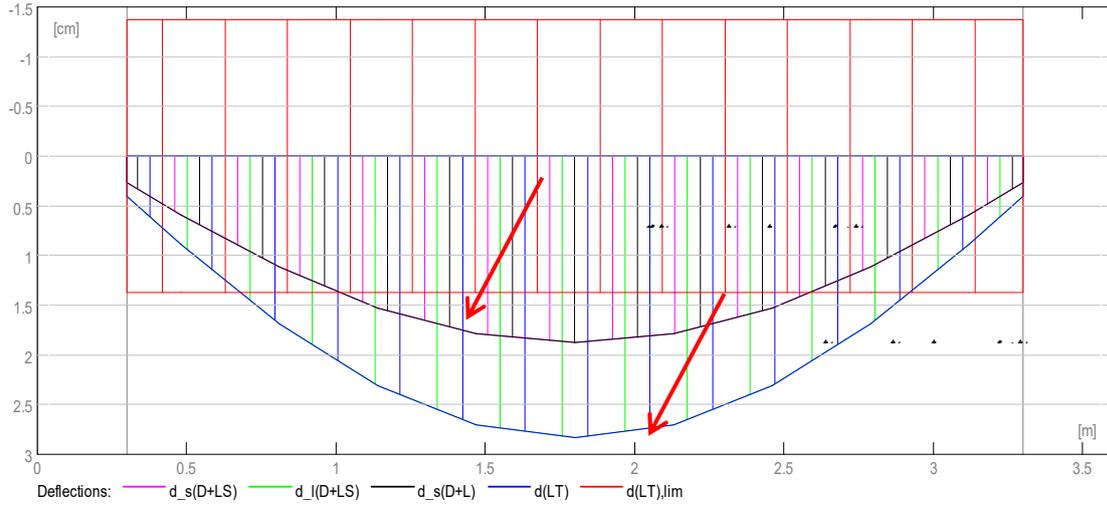
شكل 2 : بوضوح مساحة حديد التسليح العلوي والسفلي في الكمرة

من خلال التحليل الإنشائي الشبه العددي (semi-numerical structural analysis)، بلغت قيمة العزوم والقوى الداخلية (internal forces) في وسط الكمرة 24.41 و 35.79 كيلو نيوتن متر للكمرتين B1 و B2 على التوالي. كانت مساحة حديد التسليح السفلي (required reinforcement area) 360 م<sup>2</sup>، بينما كانت مساحة حديد التسليح العلوي 265 م<sup>2</sup>. استخدمت الخرسانة ذات القوة  $f_{ck} = 30$  كيلو نيوتن/متر<sup>2</sup>، وحديد التسليح بقوة  $f_{yk} = 450$  كيلو نيوتن/متر<sup>2</sup>، وفقاً للتفاصيل الموضحة في الشكل 3 والجدول 1 اللذين يبينان قيم العزوم وقوى القص (shear forces) في الكمرة B1 .

جدول 1 يوضح مقدار العزوم والتشوه في الكمرات تحليل عددي باستخدام الـ Robot Structure Analysais

ULS		SLS		MU,MI	AS/AS',BOT	AS,T	AS',COMPRESIVE
ABSCIS SA	Mu,m ax.	Mu,m in.	Mu,m ax.	N.	TOM	OP	ABSCISSA VU,MAX. VU,MAX.
(M)	(kN* m)	(kN* m)	(kN* m)	(kN* m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(m)
0.3	3.3	0.0	2.4	0.0	0.7	0.0	0.0
0.5	7.4	0.0	5.3	0.0	1.5	0.0	0.0
0.8	13.1	0.0	9.3	0.0	2.9	0.0	0.0
1.1	17.1	0.0	12.2	0.0	4.0	2.7	2.7
1.5	19.6	0.0	14.0	0.0	4.8	14.9	14.9
1.8	20.4	0.0	14.6	0.0	5.1	18.9	18.9
2.1	19.6	0.0	14.0	0.0	4.8	14.9	14.9
2.5	17.1	0.0	12.2	0.0	4.0	2.7	2.7
2.8	13.1	0.0	9.3	0.0	2.9	0.0	0.0
3.1	7.4	0.0	5.3	0.0	1.5	0.0	0.0
3.3	3.3	0.0	2.4	0.0	0.7	0.0	0.0

تم تحليل مقدار التشوه (deflection) في الكمرات على التوالي بقيم تبلغ 19 مم و 22 مم للكمرات B1 على التوالي للتشوه الفوري وعلى المدى الطويل، و 16 مم و 47 مم للكمرات B2 على التوالي للتشوه الفوري وعلى المدى الطويل (short and long term deflection). يوضح الشكل 4 مخطط التشوه للكمرات B1 لكل من المدى القصير والطويل، والمشار إليهما باللون الأسود والأزرق على التوالي. المعايير الأوروبية [1] تتطلب تحديد قيم حدية مناسبة للانحرافات والتشوهات، مع الأخذ في الاعتبار طبيعة الهيكل، والتشطيبات، والقواطع، والتركيبات. يجب ألا تتجاوز التشوهات المسموح بها تلك التي يمكن للعناصر المتصلة الأخرى استيعابها، مثل الفواصل، والزجاج، والكسوة، والخدمات بشكل عام.



شكل 3: يوضح التشوه في الكمرة B1 على المدى القصير والطويل.

من الضروري حساب الانحرافات وتشوهات الكمرات بشكل صريح وفقاً للقواعد المبسطة والمعادلات كما هو مذكور في القياس رقم 7.16 b : a ، مثل تحديد نسبة الطول إلى العمق التي يجب أن تتوافق معها الكمرة لتجنب مشاكل (deformations and deflections) في الظروف العادية. ينبغي إجراء فحوصات أكثر (strictness) للعناصر الإنشائية التي تتجاوز هذه الحدود، أو عندما تكون حدود الانحراف غير تلك المذكورة في المعايير المناسبة. جدول 1 يوضح تفاصيل مقطع الكمرة B 1 وخواص المواد وبعض التفاصيل الإنشائية المهمة بما فيها مواصفات ونوع وتفاصيل الخلطة الخرسانية المستخدمة.

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 15\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right] \quad \text{if } \rho \leq \rho_0 \quad (7.16.a)$$

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 15\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad \text{if } \rho > \rho_0 \quad (7.16.b)$$

where:

$l/d$  is the limit span/depth

$K$  is the factor to take into account the different structural systems

$\rho_{AC1}$  is the reference reinforcement ratio =  $10^{-3} \sqrt{f_{ck}} \rho_{AC1}$

$\rho$  is the required tension reinforcement ratio at mid-span to resist the moment due to the design loads (at support for cantilevers)

$\rho'$  is the required compression reinforcement ratio at mid-span to resist the moment due to design loads (at support for cantilevers)

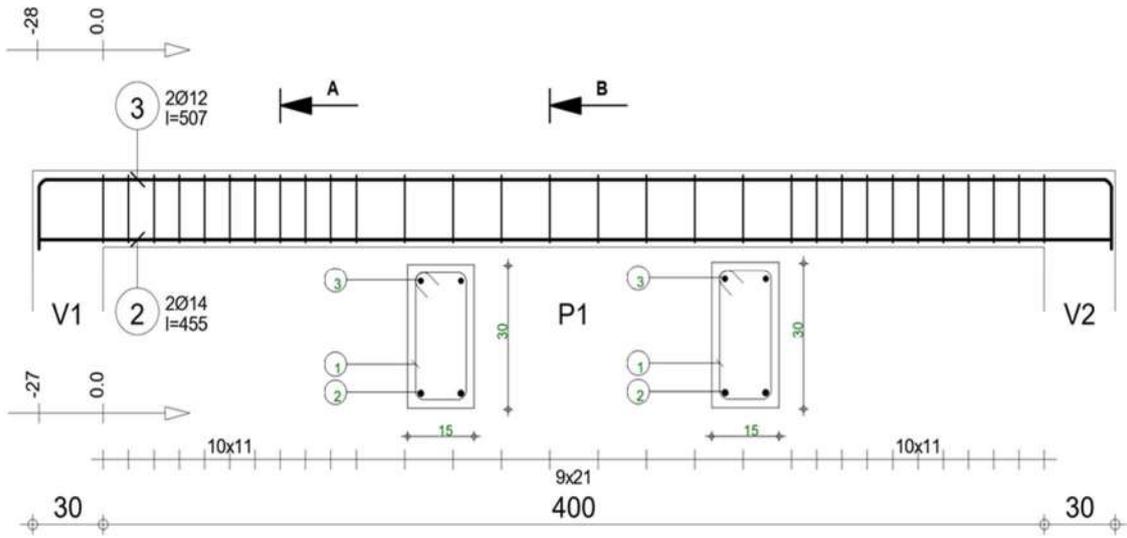
$f_{ck}$  is in MPa units

جدول 2 يوضح تفاصيل مقطع الكمرات B1 وخواص المواد وبعض التفاصيل الإنشائية

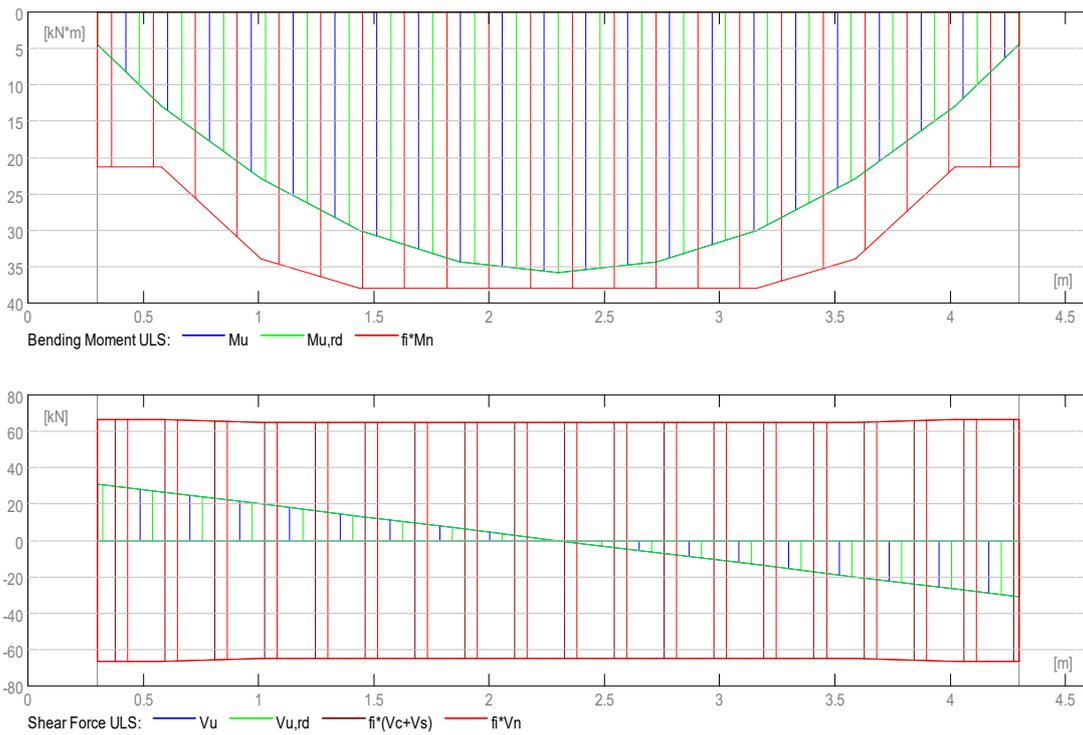
NO	MATERIAL PROPERTIES	SPECIFICATION	GEOMETRY	SPECIFICATION
1	Concrete	$f_{ck}$ C25/30 (MPa)	Span length	3.00 (M)
2	Density	2447.32 (kG/m <sup>3</sup> )	from Section	0.51 X 20.0 (CM)
3	Aggregate size	20.0 (mm)	L supp	0.20
4	Longitudinal reinforcement:	$f_{yk} = 500.00$ (MPa) B500A	L	05.3
5	Transversal reinforcement:	$f_{yk} = 500.00$ B500A (MPa)	R supp (m)	0.20

## (2) 2.2 التحليل والتصميم الإنشائي للكمرة (B2)

النتائج التفصيلية لقيم العزوم والتشوهات في الكمرات B2 تختلف عن الكمرات B1 ، حيث سُجِّلت قيم العزوم بمقدار (كيلو نيوتن متر 35.79)، وقيم قوى القص (كيلو نيوتن 30.97). الشكل 5 يوضح التفاصيل الإنشائية للكمرة B2 وفقاً للتحليل الإنشائي والتصميم باستخدام برمجية Robot Structural Analysis Professional 2024. [15]، يتضمن التصميم والتحليل الإنشائي اتباع المعايير المحددة في الكود الأوروبي، ويشمل أبعاد الكمرات وأبعاد مقطعها، وتوزيع التسليح الطولي والقص، وأنواع الأحمال المختلفة كالحية والميتة والزلزالية. أظهرت النتائج التصميمية أن الكمرات يمكن أن تتحمل تشوهاً يصل إلى (28: 47 مم) قبل الانهيار، وهو الحد الأقصى المسموح به وفقاً للمعايير الإنشائية [6]. هذا التشوه يعكس مقدار الانحناء الذي يمكن أن يحدث في الكمرات تحت تأثير الأحمال المطبقة. العزم الناتج عن الأحمال والذي أدى إلى هذا التشوه كان 45.7 كيلو نيوتن. قوة القص التي تتعرض لها الكمرات تساوي 43.7 كيلو نيوتن، وهي قوة تؤثر على طول الكمرات وتحاول قصها أو فصلها إلى جزئين. الشكل 6 يوضح مقارنة في مقدار التشوه للكمرات B1 و B2 ، حيث لوحظ فرق كبير في مقدار التشوه للكمرة B1 ، ومن المهم تقليل مقدار التشوه في الكمرات بزيادة في طول البحر .



شكل 4 : يوضح مقطع طولي في الكمرة B2 موضح فيها حديد التسليح والابعاد المقاطع والتسليح



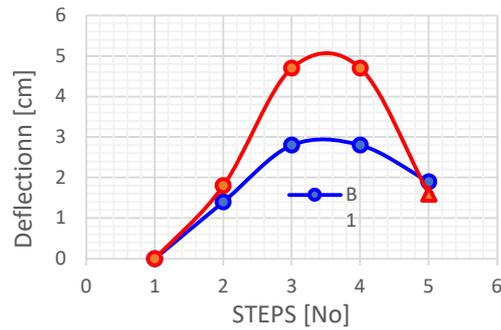
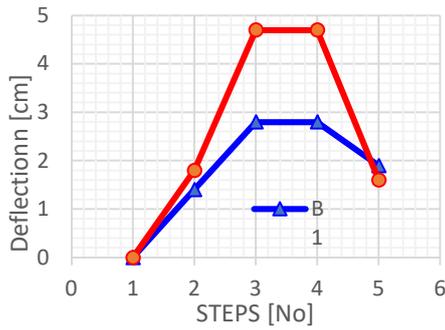
شكل 5 : يوضح قيمة العزوم وقوى القص للكمرة نموذج B2

الجدول 3. يوضح مقارنة ما بين الكمرات (للكمرات B1 و B2) في مقدار التشوه بينما الشكل 7 يوضح مخطط بياني لهذه المقارنة المهمة في مقدار التشوه للكمرات، حيث لوحظ فرق كبير في مقدار التشوه للكمرة B1 ، ومن

المهم تقليل مقدار التشوه في الكمرات بزيادة في طول البحر. تم اختيار الكمرة B2 لإجراء تحقيق دقيق باستخدام نظرية العناصر المتناهية (FEM) وبرنامج ABAQUS [14]، لضمان دقة النتائج في المراحل القادمة من التحليل.

جدول 3 يوضح نتائج التشوه للكمرة B1

ت	DISCERPTION		التشوه	
			B1 (cm)	B2 (cm)
1	Initial live-load deflection	d(L)	1.40	1.80
2	Initial dead-load deflection	d(D)	2.80	4.70
3	Initial sustained live-load deflection	d(LS)	2.80	4.70
4	Total sustained live-load deflection	d(LT)	1.90	1.60
5	Allowable deflection	d(LT),lim	1.90	1/60



شكل 6 : مقارنة ما بين الكمرات B1, B2 حسب مقدار التشوه

### 1.1.1.3 التجارب العددية (Numerical Experiments)

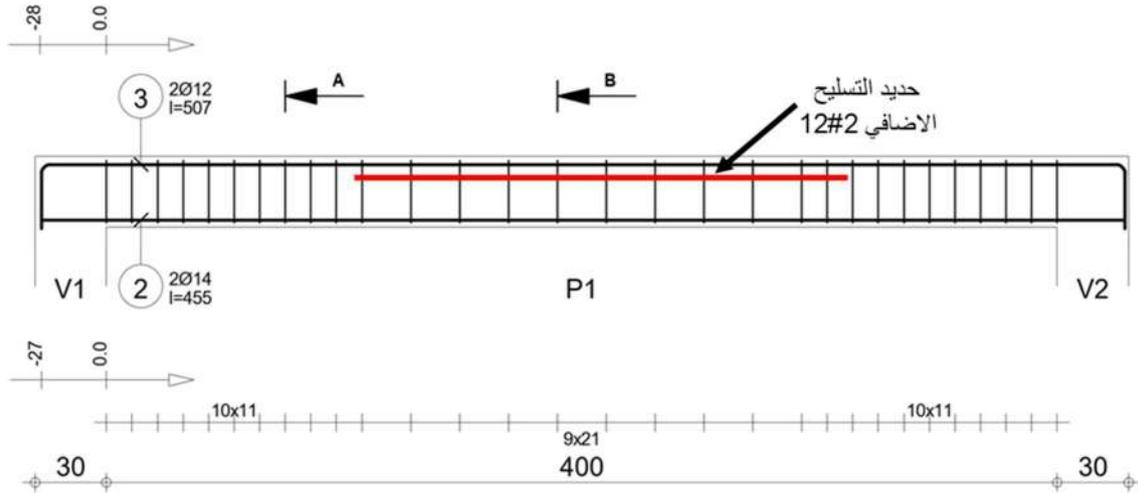
#### (1) 1.3 سيناريوهات الاختبار والاهداف (Test scenarios)

بعد تصميم الكمرتين (B1, B2) انشائيًا وتحديد مقدار التشوه وكمية حديد التسليح ودراسة التفاصيل الانشائية وتصرف الكمرات تحت أحمال الخدمة والاحمال الاستثنائية، نأتي الى الخطوة الثانية في هذه الدراسة وهي: نمذجة الكمرات باستخدام نظرية العناصر المتناهية وتطبيقاتها باستخدام برنامج ABAQUS وفقاً للمعايير المعمول بها في FEM [14]، في هذه الدراسة لاحظنا تهشم الخرسانة التدريجي في مناطق الضغط المحيطة بأسياخ الحديد نتيجة للضغط الحاد في اعلى الكمرة قبل ظهور التشققات الشعرية في مناطق الشد. ولدراسة تصرف الكمرات أثناء عملية التحميل والدراسة الدقيقة لمعرفة اثار التشوه الداخلي في منطقة الضغط المتزايد عند درجة معينة من

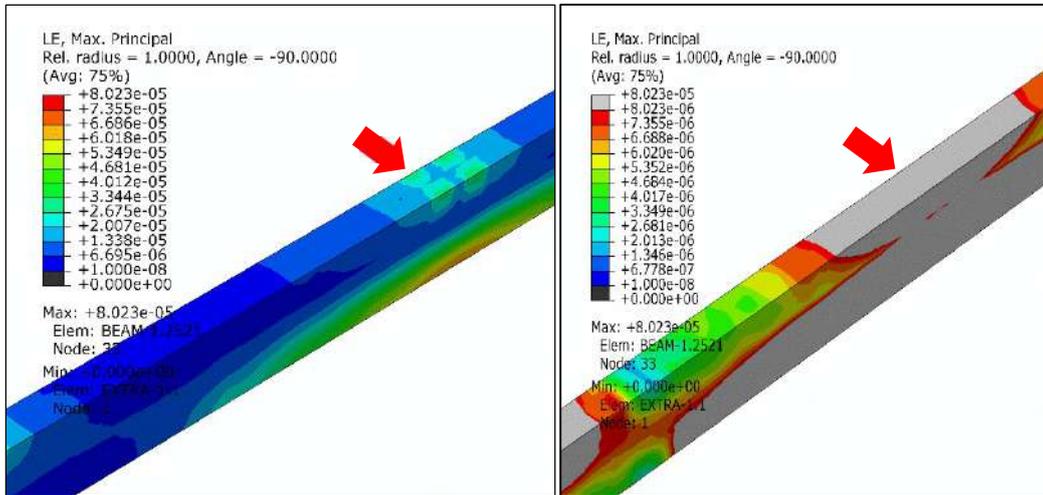
التحميل، وجدنا تأثير سلبي كبير يؤثر في التشوه المتزايد في جسم الكمره خاصة في حالة المدى البعيد ( Long term deflection)، هذا الامر يستدعي البحث والتدقيق في تصميم الكمرات لتكون خالية من التشوه في الحالات الاستثنائية، حيث يكون سقوط وتشوه الكمرات عن المعدل محظورًا. هذا يشير إلى ضرورة دراسة هذه الحالات بدقة وباستخدام تقنية وتطبيقات العناصر المتناهية، خاصة في غياب معامل تجريبية متخصصة لاختبار وتطوير أداء الكمرات لمواكبة التطورات المعمارية والانشائية الحديثة، مع الالتزام بالمعايير الدولية في تحمل العزوم وقوى القص وتجميد التشوهات.

بسبب الحاجة إلى كمرات بمواصفات معمارية خاصة، وتدهور مصنعية وجودة الخرسانة وحديد التسليح مؤخرًا، تجاوزت حالات التشوه الحد المسموح به في العديد من مشاريع البناء في دولة ليبيا. ولمعالجة هذه المشاكل، يقدم هذا البحث إضافة علمية للمكتبات الليبية، وإمكانية إضافة بنود تصميمية في المعايير العربية والدولية في المستقبل. في هذا البحث يتم إضافة اسياخ حديد بنسبة لا تزيد عن 10% من مقدار حديد التسليح في الكمره ويتم زيادته تدريجيا حتى ما نسبته 15% لتقوية المنطقة المشار إليها في الكمره ولتجنبها التهشم الداخلي الذي لا يمكن مشاهدته بالعين المجردة ويكون فقط واضح باستخدام تطبيقات العناصر المحدودة. اثناء التحميل وبالتالي تقليل نسبة التشوه وخاصة في الكمرات الطويلة.

حديد التسليح المضاف يجب إضافته تدريجيا في منطقة الضغط العرضة لضغط كبير هذا يؤدي الى زيادة نسبة التماسك ما بين مكونات وعناصر الكمره، كما ان نسبة حديد التسليح المضافة لدراسة تصرف الكمره عند التحميل وحتى ظهور التشققات وصولا الانهيار التدريجي تحد نسبيا من نسبة التشوه، خاصة في الكمرات ذات البحور الواسعة، دون التأثير على مساحة مقطع الكمره. في هذا السياق، استخدمت هذه الدراسة النموذج B2 ، والذي اظهرت النتائج ان مقدار التشوه على المدى البعيد اكبر من النموذج B1 . التسليح العلوي والسفلي للكمرة B2 في البحث تم تنفيذه وفقاً للتصميم الانشائي باستخدام قضبان قطرها 12 مم مع كانات بقطر 6 مم كل 150 مم على التوالي، وهذا النموذج المبسط يسهل عمليات الحسابات التصميمية والتحليل العددي وفقاً لمعايير الكود الأوروبي [6] ، الشكل 8 . يوضح التفاصيل الانشائية للكمرة B2 ، الجدير بالذكر أن هذه الدراسة تتطلب دقة عالية في اختيار ونمذجة العناصر الانشائية، حيث تم دمج هذه العناصر ومحاكاتها لتكون متناسقة وتعمل بشكل فعال مع بعضها البعض، هذا الامر يتطلب دقة كبيرة لتحقيق نتائج دقيقة وتجاوز التشوهات التي قد تحدث عند المساند والتي قد تؤثر على أداء الكمره في الواقع. يوضح الشكل 9. التفاصيل الدقيقة لعملية تطبيقات العناصر المحدودة في التجربة العددية.



شكل 7 : يوضح مكان اضافة حديد التسليح المقترح في الكمرات لتقليل من نسبة التشوه



شكل 8 يوضح بداية التمزق في مناطق الشد المتزايد

## (2) 2.3 تطوير نموذج (FEM)

استنادًا إلى الدراسات الأولية [10]، تبين أن التحليل الديناميكي غير الخطي (nonlinear dynamic analysis) يوفر النتائج الأكثر واقعية. لاستخدام المحاكاة العددية (numerical simulation) وتطبيقات العناصر المحدودة (finite element applications)، تم توظيف برنامج ABAQUS التجاري للتحليل بنوعيه الثابت (static analysis) (quasi-الثابت) و (explicit time integration)، استخدم التخميد اللزج (viscous damping) داخلي وعمام بشكل كبير لتقليل الاهتزازات الناتجة عن الأحمال المطبقة. تم نمذجة جميع الأجزاء الخرسانية والفولاذية باستخدام عناصر

قشرية (shell elements) بثلاث وأربع عقد. [10, 5] (nodes) تم تحقيق ربط الشدات الخرسانية (concrete reinforcement) عبر دمج العقد المتزامنة. (Embedded Region)

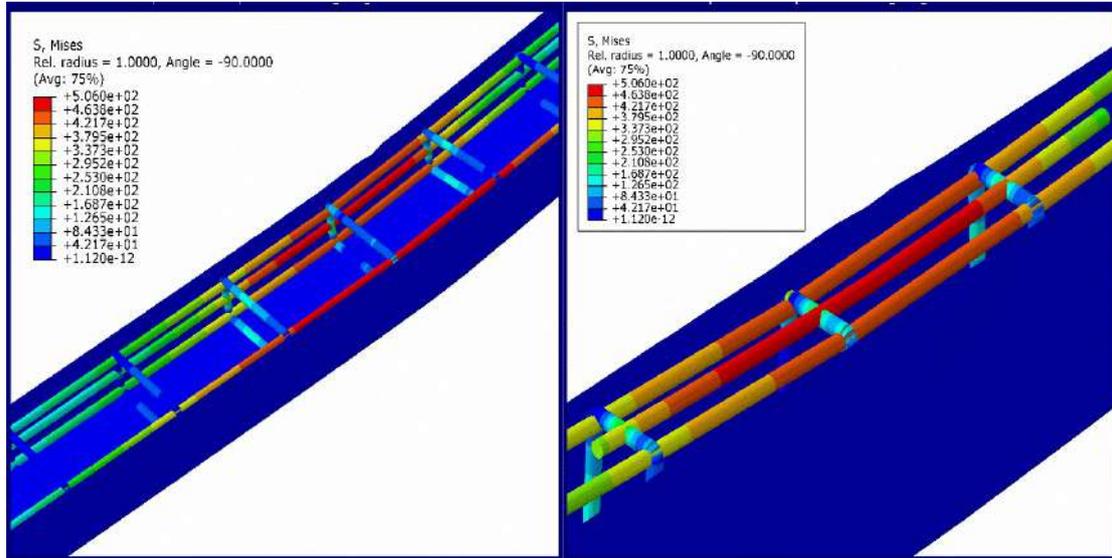
تفاوتت كثافة الشبكة (mesh density) وكانت أكثر دقة في المناطق المتوقع حدوث تشوهات كبيرة (large deformations) فيها. يوضح الشكل 10. شبكة العناصر المحدودة النموذجية للكمرة (beam) مع تمثيل اتصال الكمرات بالعمود (column) كجسم صلب (rigid body) لمنع تركيز الإجهادات (stress concentrations) التي قد تؤثر على الهدف الرئيسي للدراسة. التحدي الرئيسي يكمن في النمذجة التفصيلية للكمرة ونقاط اتصال حديد التسليح بالكانات الرئيسية (stirrups) في منطقة الضغط (compression zone) بالكمرة الخرسانية، بالإضافة إلى التشوهات المحتملة عند المساند (supports). ولتجنب تركيز الإجهادات العالية عند المساند وتحقيق توزيعات إجهاد أكثر واقعية، تم استخدام وصلات صلبة عديمة الكتلة (massless rigid links) بين العقد في نهاية الكمرات. تم تمثيل حديد التسليح الإنشائي بنموذج عددي لمادة مرنة بلاستيكية-إلاستية (elasto-plastic material model) مع تقريب خطي متعدد العناصر لعلاقة الإجهاد والانفعال (stress-strain relationship)، كما هو موضح في الجدولين 3، 4، اللذين يعرضان المحاكاة الشاملة للعناصر الإنشائية للكمرة.

جدول 4 : يوضح الخواص الميكانيكية للخرسانة المسلحة المستخدمة في الاختبار العددي

ت	خواص الخرسانة	CONCRETE PROPERTIES			
36.31	Plastic/ Dilation Angle	CONCRETE DAMAGE PLASTICITY			
		Compressive Behavior	TENSILE BEHAVIOR		
		Yield stress	Inelastic strain	Yield stress	DISPLACEMENT
		0	30	0	2.9
		0.001	45	0.482165	0.053

جدول 5: يوضح الخواص الميكانيكية لحديد التسليح المستخدمة في التجربة العددية

DENSITY		STEEL		
خواص الفولاذ		PROPERTIES		
Density	Elastic	PLASTIC		
Mass				
E-097.85	Young's	Poison	Yield stress	PLASTIC
	Model	Ratio		STRAIN
	210000	0.3	0	502
			0.19	537



شكل 9: يوضح شبكة العناصر المحدودة النموذجية للكمرة التي لا تحتوي على حديد اضافي

#### 1.1.1.4 العناصر المحدودة وتطور التحليل العددي (Evolution of Numerical Analysis)

استخدمت العناصر التالية لنمذجة الكمرة عددياً، حيث كانت عدد العقد هو 7918، وعدد العناصر هو 6568، ونوع العناصر المستخدمة هو C3D8R، والذي يناسب الكمرة من نوع B1.

بالنسبة لحديد التسليح، تم اختيار العنصر وعدد العقد ونوعها وفقاً لخصائص الكتلة لتمثيل الجزء: جزء-2-1- جزء-1-لين-1-2، الحجم:  $e+061.12419$ ، مركز الحجم:  $e+014.24999$ ،  $-5.75000e+01$ ،  $5.03000e+03$

الكتلة:  $-038.82487e$ ، مركز الكتلة  $014.24999e$ ،  $-5.75000e+01$ ،  $5.03000e+03$  عزم القصور الذاتي حول نقطة الأصل (lxx)، (lyyy، lzz، lxy، lyz، lzx):  $2.95967e+05$ ،  $2.95954e+05$ ، الكتلة:  $-7.26608e$ ،  $4.52760e+01$ ،  $2.15658e+01$ ،  $-1.88654e+03$ ،  $2.55237e+03$ ، عزم القصور الذاتي حول مركز الكتلة:  $7.26608e+04$ ،  $1.58848e+01$ ،  $1.77636e+14$ ،  $3.18323e-12$ ،  $9.21406e-04$  استخدام العناصر التالية للنمذجة العددية (numerical modeling) لحديد التسليح (reinforcement) أدى إلى الحصول على 7918 عقدة (nodes) و6568 عنصراً (elements)، وكان نوع العناصر المستخدمة هو B31 وC3D8R، الذي يناسب الكمرات من نوع B1 [2]، الجدول (6) يوضح الخواص الميكانيكية (mechanical properties) للخرسانة المسلحة (reinforced concrete) المستخدمة في الاختبار العددي (numerical test)، فيما يوضح الجدول (7) الخواص الميكانيكية لحديد التسليح المستخدم في التجربة العددية (numerical experiment).

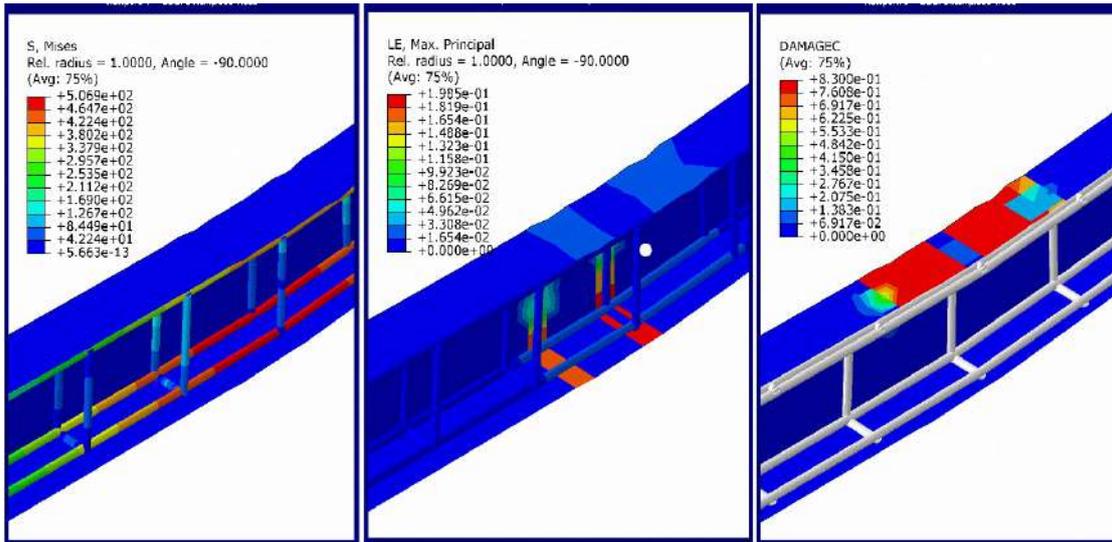
جدول 6 : يوضح الخواص الميكانيكية للخرسانة المسلحة المستخدمة في الاختبار العددي

CONCRETE PROPERTIES		خواص الخرسانة	
Plastic/ Dilation Angle	CONCRETE DAMAGE PLASTICITY		
	Compressive Behavior		TENSILE BEHAVIOR
36.31	Yield stress	Inelastic strain	Yield stress
			DISPLACEMENT
	0	30	0
	0.001	45	0.482165
			2.9
			0.053

جدول 7 : يوضح الخواص الميكانيكية لحديد التسليح المستخدمة في التجربة العددية

STEEL PROPERTIES		خواص الفولاذ	
Density Mass	Elastic		PLASTIC
E-097.85	Young's Model	Poison Ratio	Yield stress
			PLASTIC STRAIN
	210000	0.3	0
			0.19
			502
			537

جراء الاختبارات العددية (numerical tests) كان بهدف محاكاة كمرات البناء وفقاً للتحليل الإنشائي (structural analysis)، حيث تم تطبيق إزاحة رأسية (vertical displacement) بمقدار 100 ملم في منتصف الكمرة (beam) لتحديد قوة التحمل (load-bearing capacity) وعلاقتها بالإزاحة (displacement). في الاختبار الثاني، تم تطبيق أحمال منتظمة (uniform loads) على الكمرة بمقدار 2.5 نيوتن/متر لتحديد مقدار التشوه (deformation) في أعلى نقطة، والتي وضعت في منتصف الكمرة. يوضح الشكل 11 تفاصيل محاكاة الكمرة وموضع الأحمال وشروط الحدود. (boundary conditions).



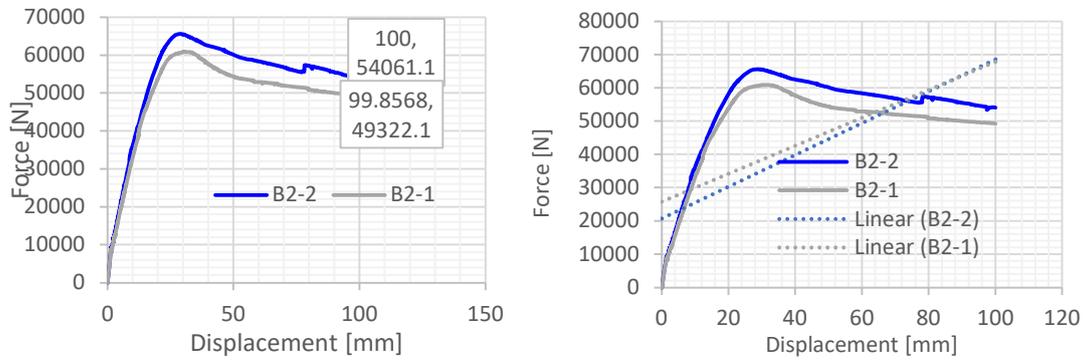
شكل 10: تفاصيل محاكاة الكمرة وموضع الأحمال وشروط الحدود. (Bondaroy conditions).

### 1.1.1.5 مناقشة النتائج

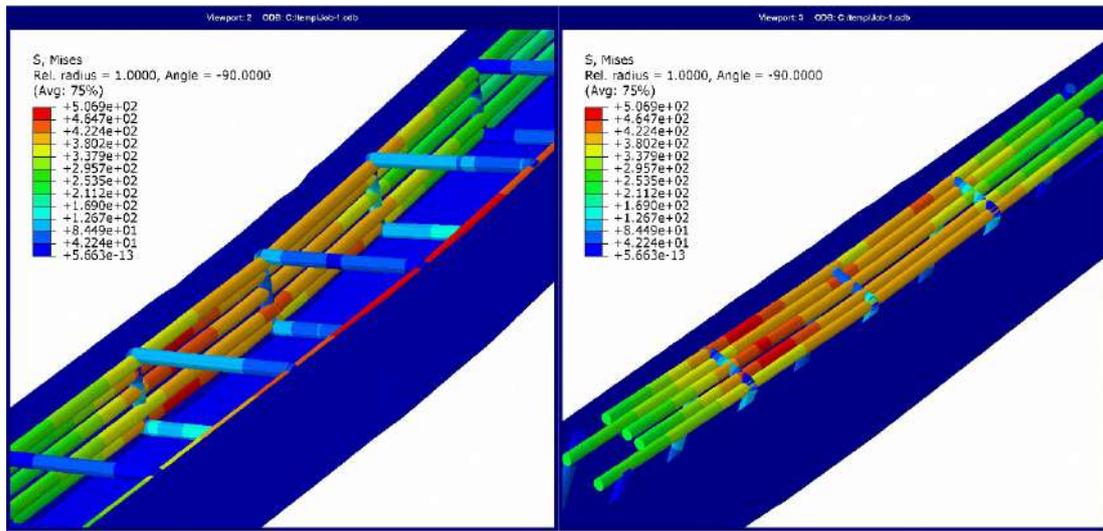
في الحالة الأولى من التحليل العددي (numerical analysis)، تم تطبيق إزاحة رأسية (vertical displacement) بمقدارها 100 مم في منتصف الكمرة (beam). تمت مقارنة القوة (force) بمقدار التشوه (displacement) في نموذج الكمرة. بعد إضافة حديد التسليح بنسبة 10% في منطقة الشد (tension zone) أسفل الكمرة، أظهرت النتائج عدم تغيير في حجم التشققات أو التشوه في منطقة الضغط (compression zone). لهذا الأمر يدفعنا نحو النظر في حلول بديلة بدلاً من زيادة مقطع الكمرة أو زيادة التسليح السفلي. أحد هذه الحلول هو إضافة نسبة من حديد التسليح في منطقة الضغط (أعلى منتصف الكمرة)، حيث أظهرت النتائج انخفاضاً طفيفاً في التشوه إلى مستوى أقل من المتوقع. تم إعادة التحليل في النموذج B2-1 بإضافة نسبة من حديد التسليح بنسبة 10% من نسبة التسليح الأصلية للكمرة وفقاً للمعايير المحددة في الكود الأوروبي [6]. (Eurocode) كانت النتائج مشجعة حيث تم تقليل مقدار التشوه إلى 3مم تقريباً.

في النموذج B2-2، تم زيادة قطر حديد التسليح (reinforcement diameter) بدلاً من زيادة العدد. أظهرت النتائج تحسناً حيث وصل مقدار التشوه إلى الصفر. هذا يؤكد أن الحلول المتبعة أدت إلى تحسين الأداء الهيكلي

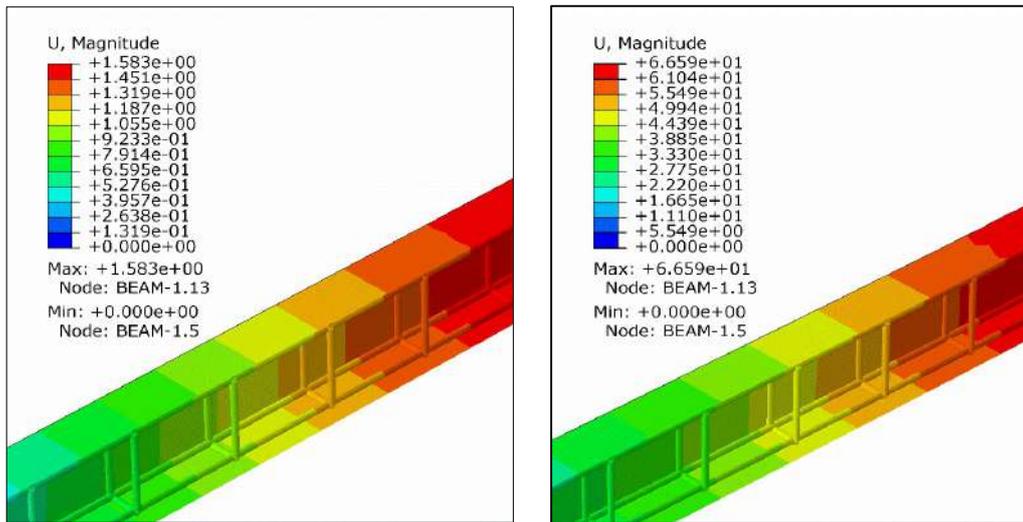
(structural performance) للكمرة، مع تقليل التشوهات (deformations) وتعزيز المقاومة في مناطق الضغط المختلفة. توضح النتائج في الشكل 12 نموذج الكمرات B2-2 ، والشكل 13 يبين العلاقة بين القوة والتشوه للكمرات B2-1، والكمرة B2-2 بتغيير نسب حديد التسليح وموضعه في كل كمرات. في الحالة الأولى لنموذج B2-1، كانت قوة صلابة الكمرات (beam stiffness) تساوي 49.30 كيلو نيوتن (kN) والتشوه 100 مم، في الحالة الثانية للنموذج B2-2 بعد إضافة 15% من حديد التسليح الرئيسي للكمرة في منطقة الضغط، زادت قوة تحمل الكمرات إلى 54.06 كيلو نيوتن مع تقليل في مقدار التشوه. بالنسبة للنتائج من التحميل الثاني، والذي يعكس حمل الكمرات بأحمال الخدمة (service loads) بمقدار 10.00 كيلو نيوتن، كانت مقدار التشوه في الكمرات B2-1 يساوي 70.1 مم، بينما قل في الكمرات المدعمة بتسليح 15% في مناطق الضغط حيث يساوي 64.70 مم. يوضح الشكل 13 العلاقة ما بين القوة والازاحة لكل الاختبارات العددية فيما يوضح الشكل 14 التشوه للكمرة والتفاصيل والمقارنة بين هذه النتائج.، اما الشكل 15 فيوضح فرق الازاحة ما بين الكمرتين بالميليمتر.



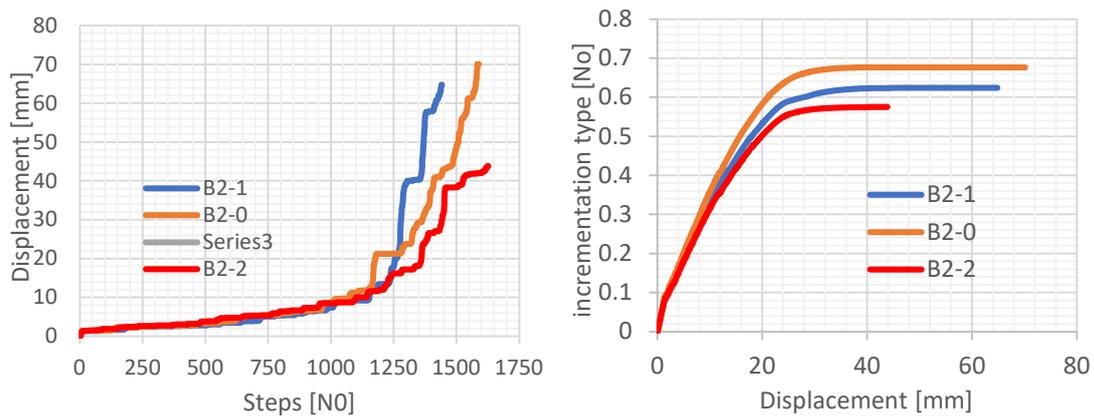
شكل 11: العلاقة ما بين القوة والازاحة (التشوه) ومقارنة النتائج ما بين الكمرات العادية والمضاف إليها تسليح في مناطق الضغط



شكل 12: يوضح تشوه الكمرات المضاف إليها حديد التسليح في مناطق الضغط



شكل 13 : قيم التشوه للكمرات B2-1, B2-2



شكل 14: مقارنة ما بين B2-1, B2-2 من حيث الازاحة (التشوه)

### 1.1.1.6 الخلاصة

من خلال تطبيقات نظرية العناصر المتناهية (finite element theory) والتحليل العددي (numerical analysis) المستخدم لدراسة سلوك الكمرات المسلحة (reinforced beams)، تم الوصول إلى النتائج التالية:

1. **فعالية النموذج العددي:** أظهر النموذج العددي المستخدم قدرة عالية على محاكاة سلوك الكمرات المسلحة بدقة، مما يعزز الثقة في استخدام مثل هذه التطبيقات لتحليل الكمرات في المستقبل.
2. **تأثير حديد التسليح في منطقة الشد:** إضافة حديد التسليح بنسبة 10% في منطقة الشد (tension zone) لم تؤثر بشكل كبير على حجم التشققات (cracks) أو التشوه (deformation) في منطقة الضغط.

(compression zone) هذا يشير إلى أن تحسين الأداء الهيكلي (structural performance) للكمرات يتطلب النظر في تغييرات أخرى في تصميم التسليح.

3. تحسينات من خلال إضافة حديد التسليح في منطقة الضغط: إضافة نسبة من حديد التسليح في منطقة الضغط (compression zone) أعلى منتصف الكمرات أظهرت نتائج إيجابية حيث انخفض التشوه إلى مستوى أقل من المتوقع. هذا التحسن أدى إلى تقليل التشوه بشكل ملحوظ، مما يشير إلى أن تعزيز منطقة الضغط يمكن أن يكون حلاً فعالاً لتحسين أداء الكمرات.

4. زيادة قطر حديد التسليح: في النموذج B2-2 ، زيادة قطر حديد التسليح (reinforcement diameter) بدلاً من زيادة العدد أثبتت فعالية أكبر في تقليل التشوه والوصول به إلى الصفر، مما يثبت أن تحسين قطر التسليح يمكن أن يكون أكثر فعالية من زيادة كميته.

5. تحسين الأداء الهيكلي للكمرات: التحسينات المطبقة في النماذج B2-1 و B2-2 أظهرت تحسناً كبيراً في الأداء الهيكلي للكمرات، مع تقليل التشوهات وزيادة المقاومة في مناطق الضغط المختلفة. هذه النتائج تؤكد أن الحلول المقترحة كانت فعالة وصحيحة.

6. تأثير الأحمال المنتظمة: عند تحميل الكمرات بأحمال الخدمة المنتظمة (uniform service loads) ، أظهرت النتائج انخفاضاً ملحوظاً في التشوهات مع التحسينات المطبقة، مما يعزز فعالية الحلول في تحسين أداء الكمرات تحت الأحمال الواقعية.

بناءً على هذه النتائج، يمكن الاستنتاج أن التحسينات في تصميم حديد التسليح (reinforcement design) ، سواء من خلال إضافة تسليح في مناطق الضغط أو زيادة قطر التسليح، يمكن أن تؤدي إلى تحسين كبير في الأداء الهيكلي للكمرات. هذه الاستنتاجات يمكن أن تكون مفيدة في توجيه تصميم الكمرات المسلحة في المستقبل وفقاً للمعايير المحددة في الكود الأوروبي (Eurocode) .

#### 1.1.1.7 المصادر

1. Smith, J. "Field Observations and Assessment of Beam Deflection." Tripoli International Stadium Maintenance Project, 2023, p. 45.
2. Johnson, L. "Factors Affecting Deflection in Reinforced Concrete Beams and Slabs." Journal of Structural Engineering, 2022, pp. 103-105.
3. Brown, K. "Calculation Errors in Structural Engineering." International Conference on Structural Integrity, Berlin, 2021, pp. 58-60.
4. Wang, M. "Advanced Software for Deflection Calculation in Concrete Structures." Structural Analysis and Design Journal, 2020, pp. 85-87.
5. Clark, R. "Impact of Load History on Immediate Deflection." European Conference on Civil Engineering, Paris, 2019, pp. 112-114.

6. Davis, P. "Creep and Shrinkage Factors in Eurocode." Eurocode Structural Standards Manual, 2018, pp. 120–122.
7. Lee, A. "Reinforcement Corrosion and Its Effects on Structural Deflection." Journal of Concrete Research, 2017, pp. 77–79.
8. Martinez, S. "Solutions for Reducing Beam Deflection: A Comprehensive Review." International Journal of Structural Solutions, 2016, pp. 145–147.
9. Nguyen, T. "Finite Element Method (FEM) for Deflection Analysis." Journal of Structural Simulation, 2015, pp. 33–35.
10. Patel, V. "Numerical Studies on Deflection in Reinforced Concrete Beams." Engineering Analysis Journal, 2014, pp. 91–93.
11. Kim, Y. "Deflection and Safety in Building Structures: A Modern Approach." Civil Engineering Modern Practices, 2013, pp. 59–61.
12. William Nash and. Fifth Edition ,Schaum's Outline of Strength of Materials Merle, ISBN:9780071635080 Publication 2011.
13. Yun C. Ku, Deflection of Beams for All Spans and Cross Sections, 3th Edition, 2012.
14. Abaqus/CAE 6.14, User's Manual Documentation, 2024, <http://62.108.178.35:2080/v6.14/index.html>.
15. Robot Structural Analysis Professional, 2024, Documentation, User's Guide, <https://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2024/ENU/?guid=GUID-4A734308-B2F3-4147-A310-BD47C48E9ED1>.

## تصنيف المواقع الزلزالية كما ورد في مسودة المواصفات الليبية المقترحة والمواصفات الأمريكية IBC والمواصفات الأوروبية EC-8 (دراسة مرجعية)

عيسى عبدالحميد محمد

الهيئة الليبية للبحث العلمي - فرع بنغازي

eng.iessa@yahoo.com

### المخلص

تعتبر الزلازل واحدة من أكثر الظواهر تدميراً، ويحدث ذلك بسبب الإطلاق المفاجئ للطاقة في القشرة الأرضية مما يؤدي إلى حدوث موجات زلزالية، وتسبب الزلازل أضراراً تلحق بمختلف المنشآت التي صنعها الإنسان مثل المباني والجسور والطرق والسدود وغيرها.

عندما تنتقل الموجات الزلزالية عبر طبقات التربة المختلفة تنعكس هذه الموجات وتتكسر وتعتمد طبيعة حركات الزلازل وتأثيرها على المباني إلى حد كبير على طبقات التربة التي تمر من خلالها.

يعد التضخيم أحد تأثيرات الموقع وهو أحد أهم العوامل في كل من علم الزلازل وهندسة الزلازل، ويشير مصطلح تضخيم الموقع إلى زيادة تضخيم الموجات الزلزالية أثناء مرورها عبر طبقات التربة القريبة من سطح الأرض.

يمكن لطبيعة التربة في الموقع أن تلعب دوراً رئيسياً في تضخيم الموجات، وبالتالي يمكن أن تؤثر بشكل كبير على الأداء العام للمباني أثناء الزلازل. بشكل أساسي يتم تضخيم قوة التصميم الزلزالي حسب طبيعة التربة المختلفة ويعد تحديد نوع التربة في المواصفات وتصنيفها جزءاً مهماً من فهم مدى التأثير الذي يمكن أن يحدثه الزلزال.

تعتبر مسودة المواصفات الليبية المقترحة هي المواصفة المحلية الوحيدة لتصميم وبناء المباني المقاومة للزلازل في ليبيا، وبالرغم من أن بها العديد من القصور والنواقص، ولم تخضع لأي تطوير منذ فترة طويلة إلا أنها ما يزال يستخدمها بعض المهندسون وعدد من الشركات الأجنبية الأخرى العاملة في ليبيا، ولمعرفة أوجه القصور والقصور في المسودة، ركز الباحث على مقارنتها مع المواصفات العالمية التي تم تطويرها عدة مرات مثل المواصفات الأمريكية IBC والمواصفات الأوروبية EC-8.

المسودة تقترح ثلاث تصنيفات لتربة الموقع بناءً على مقاومة الاختراق القياسية  $N$ ، بينما في المواصفات الأمريكية IBC هناك ستة تصنيفات لتربة الموقع الزلزالي بناءً على سرعة موجة القص  $V_s$  ومقاومة الاختراق القياسية  $N$  وقوة القص غير المصرفة للتربة  $S_u$ ، في المواصفات الأوروبية EC-8 يتم تمثيل تأثير استجابة الموقع من خلال خمسة أنواع من التربة بناءً على سرعة موجة القص ومقاومة الاختراق القياسية  $N$  وقوة القص غير المصرفة للتربة  $S_u$ . مع الأخذ في الاعتبار أن سرعة موجة القص تلعب دوراً مهماً للغاية في تصنيف المواقع وهي معلمة حاسمة لتقييم الخصائص الديناميكية للتربة وتحليل الاستجابة الزلزالية للموقع. تمت مقارنة طريقة تصنيف الموقع وعامل التربة في المسودة مع المواصفات الأمريكية IBC والمواصفات الأوروبية EC-8 وتمت مناقشة النتائج واستخلاص الاستنتاجات.

**الكلمات الافتتاحية:** مسودة المواصفة الليبية المقترحة، المواصفات الأمريكية IBC والأوروبية EC-8، تصنيف الموقع، معامل التربة.

## 1. مقدمة

في الهندسة المدنية، تعتبر المعرفة والتحكم في نشاط الزلزال أمراً مهماً للغاية من أجل منع الآثار التي قد تحدث أثناء الزلزال. آثار الخطر الزلزالي تتأثر عموماً بسلوك التربة تحت التحميل الديناميكي ويتم تحديد هذا السلوك تحت التحميل الديناميكي من خلال خصائص التربة الديناميكية مثل سرعة موجة القص ومعامل القص ونسبة بواسون وخصائص التخميد.

يركز الباحث على الأحمال الزلزالية على المباني في ليبيا وذلك من خلال مسودة المواصفات الليبية المقترحة لأحمال الزلازل وذلك بالمقارنة بالمواصفات والكودات العالمية. فقد قدم المؤلف وباحث آخر في ورقة سابقة مقترحاً للمعاملين  $S_1$  و  $S_2$  لكامل مناطق ليبيا، وقدموا لأول مرة إمكانية استخدام الكود IBC للمباني في ليبيا [1].

## 2. الموجات الزلزالية

عندما تحدث الهزة الأرضية ينتشر نوعان من الأمواج انطلاقاً من بؤرة الزلزال:

- أمواج رئيسية أو أمواج P (Primary waves) حيث تتحرك ذرات المادة بشكل موازى لمنحنى انتشار الأمواج مما يؤدي إلى تناوب التشوهات بين ضغط وشد فتارة تدفع الصخور وتارة تسحبها فتشبه إلى حد كبير الأمواج الصوتية التي يمكنها الانتشار في الأجسام الصلبة وفي السوائل .
- أمواج ثانوية أو أمواج S (Secondary waves) حيث تتحرك ذرات المادة جانبياً أو إلى الأعلى والأسفل بشكل متعامد مع منحنى انتشار الأمواج فتؤدي إلى نشوء تشوهات قص في الصخور وعندما تصل إلى سطح الأرض يمكن تنتج حركة شاقوليه أفقية لا تستطيع هذه الأمواج الانتشار في السوائل [2].

## 3. ما هو كود IBC وكود EC8 ومسودة 1977-DSLS؟

قام مجلس الكود الدولي (ICC) بتوحيد ثلاث كودات (جمع كود) وأنتج كود البناء الدولي (IBC) وكان أول نشر له في عام 2000، وتتم مراجعة وتحديث IBC كل ثلاث سنوات للسماح بمواد وتقنيات جديدة والمنتجات وتصحيح المشكلات التي كانت تمثل مشكلة أو تشكل خطراً في الماضي [3].

تم تطوير المفاهيم الأولى للتصميم الإنشائي في المناطق الزلزالية موضوع الكود الأوروبي (EC8)، من خلال الخبرة المكتسبة في الكوارث مثل تلك الناجمة عن زلزال سان فرانسيسكو عام 1906 و زلزال ميسينا عام 1908. نُشرت نسخة سابقة من EC8 الجزء الأول في نهاية عام 1988 ثم بدأ نشره خارج أوروبا [4].

أعدت وزارة الإسكان في عام 1977 مشروع مسودة لتصميم وتشديد المباني المقاومة للزلازل لأول مرة لتكون بمثابة مدونة وطنية، سميت "مسودة المواصفات الليبية المقترحة" والتي يرمز لها هنا بـ (DSLS-1977). وما زالت تستخدم حتى الآن من قبل بعض المهندسين الليبيين وعديد من الشركات الأجنبية الأخرى العاملة في ليبيا. [5].

## 4. تصنيف التربة وعامل تضخيم الموقع.

تؤثر تربة الموقع وخصائصها على الحركات الأرضية في الموقع. تبنت الكودات الزلزالية المعاصرة إلى حد كبير الدور المهم لتأثير تربة الموقع ومحاولة دمج تأثيرها إما عن طريق عامل تضخيم ثابت يعتمد حصرياً على نوعية التربة أو تتضمن معاملات إضافية مثل شدة الاهتزاز [6].

## 4.1 معامل التربة (S)

يأخذ المعامل S بالاعتبار شروط ونوع تربة الموقع والعلاقة بين التردد الطبيعي للتربة والمنشأ ويحدد المعامل S من خلال وصف تربة الموقع وقم تم تقسيم أنواع التربة الى ثلاث أنواع [2]. بالنسبة لتقييم القوة الزلزالية، يتم أخذ تأثير ظروف تربة الموقع في الاعتبار من خلال عدة معاملات تعتمد على المنطقة الزلزالية للبلد، وتربة الموقع، والفترة الطبيعية للاهتزاز وسرعة موجة القص. [7].

حتى عام 1985 كانت قيم معامل تأثير تربة الموقع (S) في العديد من الكودات العالمية المستخدمة بين 1 و1.5:

1.0 التربة الصلبة

1.2 التربة المتوسطة

1.5 التربة الناعمة

تعتمد كودات البناء في تحديدها على قيمة المعامل (S) أو بمعنى آخر تصل قيمة التضخيم الزلزالي الناتج عن تربة الموقع إلى قيمة المعامل Ts/T

حيث: -

T: التردد الطبيعي للمبنى

Ts: التردد الطبيعي لتربة الموقع

في UBC-88 CODE تم اقتراح قيم معامل التربة (S) كما هو موضح في جدول (1):-

جدول (1) أنواع ومعامل التربة لكل نوع

المعامل S	الوصف	نوعية التربة
1	(أ) صخر مواد لها سرعة موجة قصية أكبر من (762m/s) أو أدوات مناسبة للتصنيف، أو (ب) متوسطة الكثافة الى كثيفة أو متوسطة الصلابة الى صلبة حيث عمق التربة لا يقل عن ( 601.960ملم -200 قدم)	S <sub>1</sub>
2	قطاع في التربة في الغالب متوسطة الصلابة الى صلبة حيث عمق التربة لا يزيد عن ( 601.960ملم -200 قدم)	S <sub>2</sub>
3	قطاع في التربة يحتوي أكثر من 20 قدم ( 601.960ملم) تربة طينية ناعمة الى متوسطة الصلابة لكن ليس أكثر من 20 قدم ( 601.960ملم) تربة طينية ناعمة	S <sub>3</sub>
4	قطاع في التربة يحتوي أكثر من 40 قدم (12192 ملم) تربة طينية ناعمة تتميز بسرعة موجة القص ليست بأقل من ( 500ft/s -152 m/s)	S <sub>4</sub>

أدت الدراسات التي أجرتها لجنة الزلازل التابعة لجمعية الهندسة الإنشائية كاليفورنيا المعروفة باسم SEAOC إلى تعديل كبير وجذري للكود UBC-94، وتحديدًا لمعامل التربة في الموقع. وبحسب الكود تم تصنيف التربة إلى 6 أنواع كما هو موضح في الجدول (2) [8].

على الرغم من وجود طرق مختلفة فيما يتعلق بتصنيف الموقع، فإن الفكرة الأساسية للقيمة المتوسطة لسرعة موجة القص،  $V_{s30}$ ، على مدى العقود القليلة الماضية تعتبر المعلمة الأرضية لتصنيف الموقع. في IBC-2009 هناك ست تصنيفات لتربة المواقع الزلزالية، بناءً على سرعة موجة القص  $V_s$  ومقاومة الاختراق القياسية  $N$  وقوة القص غير الصرفة للتربة  $S_u$  [3].

بينما في كود الأوروبي تصنف التربة إلى خمسة أنواع رئيسية من التربة ونوعين خاصين [4]. في DSLS-1977، هناك ثلاث تصنيفات لتربة المواقع الزلزالية، بناءً على مقاومة الاختراق القياسية  $N$  [5].

جدول (2): تصنيف التربة في كود IBC ورمز EC8 و DSLS 1977

المسودة 1977 - DSLS		كود EC8		كود IBC	
الوصف	نوعية التربة	الوصف	نوعية التربة	الوصف	نوعية التربة
صخور أو تربة صلبة: حصى جيد التدرج ومخلوط حصى رمل والرمل الطيني رديء التدرج او الطين الرملي	I	صخور أو تكوينات جيولوجية صخرية	A	صخور صلبة	$S_A$
تربة متوسطة - كل تربة لها $N$ بين 10 و30 ورمل رديء التدرج أو حصى رملي قليل او لا يوجد به نواعم	II	رسوبيات من رمل كثيف جدا او حصى او طين صلب جدا	B	صخور صلبة	$S_B$
تربة ناعمة كل تربة ليست من النوع الثاني لها $N < 10$	III	تريبات من رمل كثيف أو متوسط الكثافة، حصى أو طين صلب	C	تربة كثيفة جدا أو صخور ناعمة	$S_C$
		ترسيبات تربة ضعيفة او متوسطة الالتصاق	D	تربة صلبة	$S_D$
		طبقة سطحية لها	E	تربة ناعمة	$S_E$
		$V_s$ من نوع C أو D		$V_s < 180$ m/s	
		طين ناعم/ظمي	$S_1$ , $S_2$	تربة تحتاج حسابات موقعية خاصة	$S_F$
		$V_s < 100$ m/s			

5. اختبار الاختراق القياسي (Standard Penetration Test SPT) وسرعة الموجة القصية ( $V_s$ ). يعد اختبار SPT أحد الاختبارات الأقدم والأكثر شيوعًا واستخدامًا في الموقع لاستكشاف التربة في ميكانيكا التربة وهندسة الأساسات بسبب بساطة المعدات وإجراءات الاختبار. SPT هو اختبار موضعي يستخدم على نطاق واسع ويتم إجراؤه في الموقع. تُستخدم قيم SPT-N لوصف وتقييم الخصائص الجيوتقنية للتربة [9]. تعد سرعة موجة القص معلمة أساسية ضرورية لتقييم الاستجابة الديناميكية للتربة بشكل صحيح. ويتم استخدام متوسط  $V_s$  لأعلى 30 مترًا من التربة، والمعروف باسم  $V_{s30}$ ، لتصنيف المواقع إلى فئات مختلفة، ومن ثم يتم استخدام تصنيفات الموقع في تحديد المعاملات الزلزالية للتصاميم المقاومة للزلازل. أحد التغييرات الرئيسية في الكودات هو المنهجية الجديدة للنظر في تأثيرات تربة الموقع على الأحمال الزلزالية، في الإصدارات السابقة من الكود تم تقييم ظروف الموقع وأنواع التربة نوعيًا وتم تخصيص عوامل التضخيم للموقع. بالنسبة لتصنيف الموقع، يتم حساب  $V_{s30}$  على أنه الوقت الذي تنتقل فيه موجة القص من عمق 30 مترًا إلى سطح الأرض وليس المتوسط الحسابي لـ  $V_s$  إلى عمق 30 مترًا. كما هو موضح في المعادلة (1)، يتم حساب متوسط الوقت  $V_{s30}$  على أنه 30 مترًا مقسومًا على مجموع أوقات الانتقال لموجات القص للانتقال عبر كل طبقة. يتم حساب وقت الانتقال لكل طبقة بتقسيم سمك الطبقة ( $d$ ) على  $V_s$ .

$$V_{s30} = 30 / \sum (d/V_s) \quad (1)$$

على سبيل المثال، سيتم حساب  $V_{s30}$  لتربة تحتوي على 18 م من الطين الناعم (soft clay) ( $V_s = 90$  م/ثانية) وعلى 12 م من الطين الصلب (stiff clay) ( $V_s = 260$  م/ث) على النحو التالي:  
 $122 = 30 / (18 / 90 + 12 / 260)$  م/ثانية.  
عادةً ما تؤدي طريقة متوسط الوقت إلى  $V_{s30}$  أقل من المتوسط الوزني لسرعات الطبقات الفردية:  
 $158 = (18 \cdot 90 + 12 \cdot 260) / 30$  م/ثانية.

في كثير من الحالات، قد يكون من الأفضل تحديد  $V_s$  بشكل غير مباشر عن طريق الاختبارات الشائعة في الموقع، ويختار المهندسون الارتباطات (correlations) التجريبية بين سرعة موجة القص ( $V_s$ ) نتائج الاختبارات مثل اختبار الاختراق القياسي (SPT) وقيمة N واختبار (CPT Cone) لتقدير سرعة موجة القص أو معاملات التربة الديناميكية [9].

#### 6. تقدير سرعة موجة القص للتربة باستخدام اختبار الاختراق القياسي (SPT)

سيكون الارتباط بين  $V_s$  و SPT-N مفيدًا لتلك المواقع التي لن تكون فيها الاختبارات ممكنة. ويمكن استخدام الارتباط لتقدير المعالم الجيوتقنية في المناطق التي لا توجد فيها تحريات جيوفيزيائية. يمكن العثور على عدد كبير من الدراسات التي توضح العلاقة بين  $V_s$  والمعلمات الجيوتقنية للتربة مثل مقاومة الاختراق القياسية في مناطق محددة. غالبًا ما يتم التعبير عن غالبية النماذج المنشورة في شكل دالة انحدار (تراجع) القوة (power regression function) تعطى بواسطة المعادلة (2) :-

$$V_s = a N^b \quad (2)$$

حيث :-

$V_s$  = سرعة موجة القص (Shear wave velocity) بـ م/ث

$a$  و  $b$  = ثوابت الانحدار التي تعتمد على معامل الارتباط

$N$  = قيم  $N$  المقاسة [9]

### 7. العلاقات المختارة لـ $N$ و $V_s$

توجد العديد من الارتباطات التجريبية، ومع ذلك فمن الصعب جدًا تقييم أحدهما على الآخر نظرًا لأن مستوى الثقة في كل ارتباط يختلف من موقع إلى آخر. في هذه الورقة تم اختيار خمس علاقات وفق المنهجية التالية: -  
الهند: الكود الأساسي الذي استندت عليه مسودة المواصفات الليبية

$$V_s = 78.21N^{0.38} \quad (3) \quad [9]$$

اليابان: منطقة ذات نشاط زلزالي مرتفع ولها تقنيات متقدمة في هندسة الزلازل

$$V_s = 68.3N^{0.292} \quad (4) \quad [9]$$

اليونان: إحدى مناطق الكود الأوروبي

$$V_s = 107.6N^{0.36} \quad (5) \quad [10]$$

تركيا: منطقة ذات نشاط زلزالي مرتفع

$$V_s = 58N^{0.39} \quad (6) \quad [10]$$

الولايات المتحدة الأمريكية: احد كودى المقارنة

$$V_s = 61N^{0.50} \quad (7) \quad [9]$$

### 8. النتائج والمناقشة

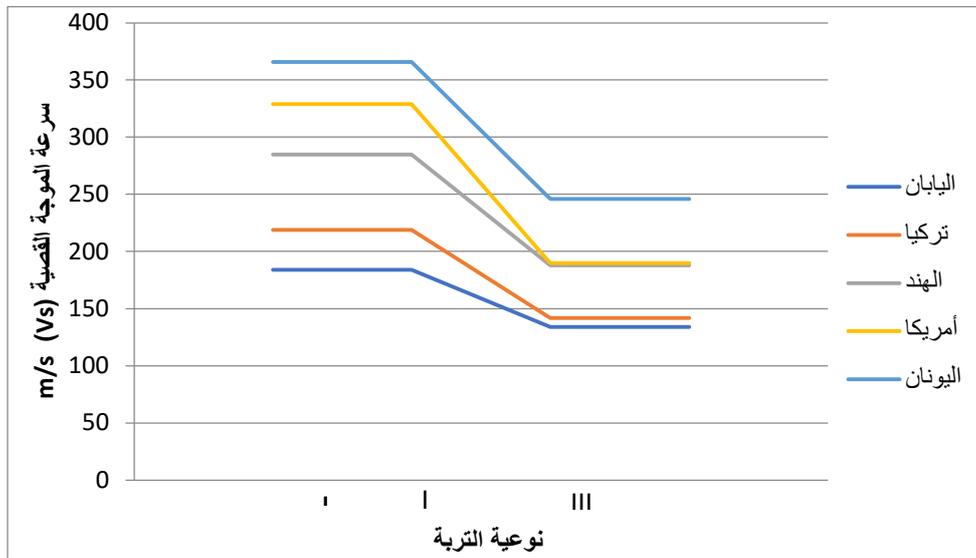
قد يكون من غير المجدي اقتصاديًا إجراء الاختبار في جميع المواقع. ولذلك، فإن وجود علاقة تجريبية موثوقة بين سرعة موجة القص ومقاومة الاختراق القياسية ( $SPT-N$ ) سيكون مفيدًا نظرًا لسهولة الحصول على  $SPT-N$

من تقرير فحص الموقع. من المهم أن نلاحظ أن جميع الارتباطات التجريبية المستخدمة لتقدير سرعة موجة القص درست جيدًا. في هذه الورقة اخترنا خمس علاقات ارتباط بين سرعة الموجة القصية وقيم اختبار الاختراق القياسي ( $N$ ) لثلاثة أنواع من التربة حسب مسودة المواصفات الليبية المقترحة (DSLS-1977).

جدول (3) بين نتائج استخدام هذه الارتباطات وشكل (1) يبين هذه العلاقات بالرسم ويظهر من خلال الرسم أن أعلى القيم كانت باستخدام أحدي الارتباطات بين سرعة الموجة القصية وقيم اختبار الاختراق القياسي ( $N$ ) المقترحة لليونان بينما أقلها كانت عند استخدام أحدي الارتباطات المقترحة لليابان.

جدول (3): سرعة موجة القص (m/s) للعلاقات الخمس المختارة

نوعية التربة	Vs = 68.3N (اليابان) <sup>0.292</sup>	Vs = 58N (تركيا) <sup>0.39</sup>	Vs = 78.2N (الهند) <sup>0.38</sup>	Vs = 61N (أمريكا) <sup>0.50</sup>	Vs = 107.6N (اليونان) <sup>0.36</sup>
I	184	219	285	329	366
II	134-184	142-219	188-285	190-329	246-366
III	134	142	188	190	246



شكل (1) العلاقة بين سرعة الموجة القصية ونوعية التربة للارتباطات الخمس المختارة

### 9. الخلاصة

نظرًا لعدم وجود ارتباطات بين سرعة الموجة القصية وقيم اختبار الاختراق القياسي (N) خاصة بليبيا، يمكن تقدير سرعة موجة القص بناءً على العلاقات المشتقة تجريبيًا. في هذه الورقة تم استخدام بعض الارتباطات بين سرعة الموجة القصية Vs مع قيم اختبار الاختراق القياسي (N) وظهرت أعلى القيم باستخدام معادلة اليونان (5)، في حين ظهرت أقل القيم باستخدام معادلة اليابان (4). اقترحت المعادلة (8) لحساب نسبة الفرق بين أعلى قيم وأقل قيم

$$\% \text{ Difference} = \frac{\text{Hig value} - \text{Lower value}}{\text{Lower value}} \times 100 \quad (8)$$

وكانت نسبة الفروقات وفق المعادلة (8) بالنسبة للنوع الأول من التربة (I) 98.9% وتراوحت بالنسبة للنوع الثاني من التربة (II) بين 83.6% إلى 98.9% وكانت بالنسبة للنوع الثالث من التربة (III) 83.6%.

نوصى بإجراء مزيد من البحوث بخصوص تأثير التربة على القوة الزلزالية، وبذل جهود مكثفة لإعداد مواصفات خاصة بأحمال الزلازل في ليبيا.

#### 10. شكر وتقدير

أود أن أشكر الأساتذة الذين تعلمنا منهم كيفية كتابة الأوراق العلمية، فلجهودهم جزيل الشكر.

#### 11. المراجع

1. Mohamed, I. & Khatrush, S., "Seismic response of reinforced concrete buildings as predicated by the draft of Libya standard (DSLS-1977) and (IBC-2009).", Proceeding book of First Conference for Engineering Sciences and Technology, Garaboulli, Libya, (2018).
2. الدكتور محمد أحمد السمارة " أساسيات ديناميك المنشآت والهندسة الزلزالية مع تطبيقات على تصميم المنشآت البيتومينية المسلحة ", دمشق، (2006).
3. International Code Council Inc "International Building Code 2009. ", Falls Church, Virginia, USA.
4. [http://www.cameron-mo.com/DocumentCenter/View/735/IBC-Why-We-Adopted?bidId= \(F\)](http://www.cameron-mo.com/DocumentCenter/View/735/IBC-Why-We-Adopted?bidId= (F))
5. ELGHAZOULI. AHMED Y. SEISMIC DESIGN OF BUILDINGS TO EUROCODE 8 SECOND EDITION, CRC Press, (2017).
6. Great Man -Made River Authority (GMRA)., " Criteria and Practice for Design and Construction of Earthquake Resistant Buildings." Benghazi, (2002).
7. Wassie.Y., "A comparative study of the seismic provisions of EBCS-8 and current major building codes on the Equivalent lateral force analysis and Dynamic response spectrum analysis." Master Thesis ADDIS ABABA University, Sep, (2011).
8. Olariu, C. & Ioan, P., "Influence of Soil Conditions in Computing the Seismic Force in Miscellaneous Design Codes.", Bulletin of the Polytechnic Institute of Lacey. Department of Building and Architecture (2011).
9. 25 Sep 2014 "أثر جيولوجية المنطقة وأنظمة التصدعات الأرضية -الفصل الثاني: تأثير تربة الموقع " جلال الديك. [https://www.slideserve.com/dillan/4788488#google\\_vignette](https://www.slideserve.com/dillan/4788488#google_vignette).
10. Wair. B, Dejong .J & Shants .T, "Guidelines for Estimating of Shear Wave Velocity Profiles", PACIFIC EARTHQUAKE ENGINEERING, (2012).

11. Harakeh.F, Rahhal.M, "Understanding Shear Wave Velocity Correlations with N-SPT and QC-CPT Values", Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamic and Earthquake Engineering, Greece, (2015).

### Symbols

N- عدد الطرقات اللازمة لاختراق مسافة 30.5 سم

$S_s$  - العجلة الأرضية عند 0.2 ثانية -  
الأرضية عند

$S_1$  - العجلة 1.0 ثانية -

$V_s$  - سرعة موجة القص ب [م/ث] -

## تأثير الأحمال الحرارية على تباعد فواصل التمدد في المباني الخرسانية، دراسة مقارنة

مصطفى فرحات قشش<sup>1</sup>، سلسبيل مصباح عمّار فرج<sup>2</sup>، دانيه ميلود عمر بشينه<sup>3</sup>

<sup>1</sup> أستاذ مساعد في الهندسة المدنية، جامعة طرابلس، ليبيا،

<sup>2</sup> مهندس، جامعة طرابلس، ليبيا،

<sup>3</sup> مهندس، جامعة طرابلس، ليبيا،

M.Ghashesh@uot.edu.ly

## ملخص

يعمل تغير المناخ بشكل أساسي على تغيير الظروف البيئية التي تم تصميم المباني فيها، والذي ينتج عنه ارتفاع وانخفاض في درجات الحرارة الموسمية خلال فصول السنة، مما يكسب العناصر الإنشائية خاصية التمدد والانكماش، الأمر الذي يُسبب في تعرض الأجزاء الإنشائية في المباني إلى إجهادات حرارية؛ قد تتسبب في تجاوز الأحمال التصميمية للمبنى. لتقليل تأثير خاصية التمدد والانكماش على المباني وما يترتب عليها من تصدعات وشقوق نتيجة تقلص وزيادة المساحة؛ يجب إتاحة الفرصة لهذه المباني بالتمدد والانكماش عند ارتفاع درجات الحرارة وانخفاضها دون حدوث أي ضرر فيها. تؤخذ فواصل التمدد (Expansion Joints) كوسيلة للحد من هذا التأثير وذلك لأنها عدت بمثابة حصن الأمان الذي يعمل على استيعاب الحركة النسبية الناتجة عن تغير المناخ؛ فهو يعطي الفرصة لأخذ خطوات حل منطقية وفقاً لأسس علمية مدروسة مسبقاً.

يستخدم العديد من المهندسين القواعد الأساسية التي توردها مواصفات التصميم والتي تضع حدوداً للتباعد الأقصى بين الفواصل. على الرغم من استخدام هذه القواعد على نطاق واسع إلا أنها لا تأخذ في الاعتبار العديد من المتغيرات الخاصة التي تتحكم في تغير حجم المبنى، عليه يجب توفير منهجية مناسبة تعتمد على تحليل المبنى حرارياً لتحديد أقصى مسافة مسموح بها بين فواصل التمدد/ الانكماش.

تُقدم هذه الدراسة وسيلة رقمية لتحديد التباعد الأنسب بين فواصل التمدد بواسطة برنامج SAP2000؛ حيث تمت دراسة نموذجين مختلفي الأبعاد لمبنى خرساني هيكلية وتعريضهما لأحمال حرارية مختلفة لبيان سلوكيهما؛ متمثلاً في مقادير الإزاحات الجانبية (التمدد) بالدرجة الأولى، والقوى الداخلية المترتبة عن هذه الأحمال. ركزت الدراسة على تحديد التباعد في الاتجاه الطولي للمبنى باستخدام التحليل الحراري. أيضاً يوفر البحث مراجعة لدراسات سابقة ضمت ثلاث طرق حسابية مختلفة لإيجاد التباعد الأقصى بين فواصل التمدد.

تشير نتائج الدراسة لأهمية وموضوعية استخدام التمثيل الرقمي لتحديد الموضع الأمثل لفواصل التمدد في المباني الخرسانية الهيكلية وخصوصاً تلك ذات الكتل الكبيرة، وأنه من الواضح أن مقدار التباعد الثابت لهذه الفواصل غير عملي!

الكلمات الدالة: تحليل حراري، أحمال حرارية، تباعد فواصل التمدد، تأثير تغير المناخ على المباني، قوى داخلية، SAP2000.

## 1. مقدمة

تعد فواصل التمدد من المكونات الأساسية في تصميم وبناء المباني الخرسانية، حيث تعمل على استيعاب الحركة الحتمية الناتجة عن التمدد والانكماش الحراري، وعوامل أخرى. تعتبر هذه المفاصل حاسمة بشكل خاص في المناطق التي تعاني من اختلافات كبيرة في درجات الحرارة، حيث يمكن أن تتعرض السلامة الهيكلية للعناصر الخرسانية للخطر إذا لم يتم معالجتها بشكل صحيح<sup>[1]</sup>، وبدون توفير ما يكفي من الحركة، فإن الهياكل الخرسانية تكون عرضة للتشقق والتشوه، وفي نهاية المطاف، تؤدي إلى الفشل الهيكلي. وبذلك تعمل وصلات التمدد على تخفيف الضغوط الناجمة عن التمدد الحراري والانكماش، وعلى هذا يتم الحفاظ على السلامة الهيكلية للمبنى طوال عمره الافتراضي<sup>[2]</sup>. تؤكد العديد من الدراسات على الدور الحاسم لفواصل التمدد في المباني الخرسانية، وتسليط الضوء على أهميتها في منع الأضرار، وتقليل تكاليف الصيانة، وإطالة عمر الهيكل<sup>[3]</sup>.

يُعدّ تحديد المسافات بين فواصل التمدد في المباني الخرسانية من الأمور الهندسية الدقيقة التي تتطلب تحليلاً دقيقاً وموازنة بين مختلف العوامل، بما في ذلك: المتطلبات الهيكلية، والاهتمامات الجمالية، والقيود العملية<sup>[4]</sup> [5]. على الرغم من وجود العديد من المبادئ التوجيهية والمعايير لمساعدة المصممين في تحديد تباعد فواصل التمدد، إلا أن العديد من العوامل الإضافية قد تساهم في تغيير القرار النهائي؛ كنوع الهيكل والظروف البيئية وخصائص المواد والأحمال المتوقعة<sup>[6]</sup>.

تهدف هذه الورقة البحثية إلى تقديم طريقة مبتكرة لدراسة التباعد الأمثل بين فواصل التمدد في المباني الخرسانية، مع التركيز بشكل خاص على تأثير الأحمال الحرارية، من خلال مراجعة الدراسات الموجودة، وتحليل دراسات الحالة؛ للوصول إلى طريقة مثلى لتحديد مواضعها عن طريق عمليات المحاكاة العددية.

## 1.1 العوامل المؤثرة على تباعد فواصل التمدد

تشمل العوامل الرئيسية التي تؤثر على تباعد مفاصل التمدد ما يلي:

- معاملات التمدد الحراري للخرسانة والمواد المحيطة بها.
- حجم وتأثيرات التغيرات في درجات الحرارة.
- تصميم الخلطة الخرسانية وخواصها بما في ذلك معامل المرونة ومعامل التمدد الحراري.
- نوع الهيكل (على سبيل المثال، الهياكل ذات الإطارات، ومباني جدران القص، وهياكل الجسور).
- القرب من مصادر التباين الحراري (مثل التعرض لأشعة الشمس، والمعدات الميكانيكية).
- الظروف البيئية مثل مستويات الرطوبة ومحتوى الرطوبة.

- القيود المعمارية وتفضيلات التصميم<sup>[7]</sup>.

يعد فهم التفاعل بين هذه العوامل أمراً بالغ الأهمية لتحديد التباعد المناسب لفواصل التمدد لضمان الأداء والمتانة على المدى الطويل للهيكال الخرساني.

## 2. المنهجية المتبعة في الدراسة

تتناول هذه الدراسة تحليل سلوك المباني الخرسانية تحت تأثير التمدد الحراري، وتهدف إلى فهم آلية تأثير التغيرات في درجات الحرارة على أبعاد وأداء المبنى، مع التركيز على إمكانية حدوث التشققات. بواسطة برمجية SAP2000 يتم إنشاء نموذجين ذات أبعاد مختلفة لمبنى خرساني متعدد الطوابق؛ نموذج أ ونموذج ب، حيث يتم تحليل كل نموذج بحالتين: مشغول وغير مشغول لتحديد الطول الاختباري لموضع فواصل التمدد في كل حالة. تم استخدام الظروف القاسية في التحليل لضمان سلامة المبنى في جميع الظروف.

### 1.2. وصف المبنى

مبنى خرساني مكون من ثلاث طوابق: ارتفاع الطابق الأرضي 4 متر. ارتفاع كل طابق آخر 3.2 متر. أبعاد المسقط الأفقي للمبنى 120 متر × 30 متر. تم تقسيم المسقط الأفقي للمبنى إلى شبكة من الأعمدة: المسافة بين الأعمدة في اتجاه 120 متر هي 5 متر، مع (ستة) أعمدة. المسافة بين الأعمدة في الاتجاه الآخر هي 6 متر. ارتفاع رقبة العمود 1.30 متر.

### 2.2. حجم أعضاء الهيكل

سمك البلاطة 17 سم لجميع البلاطات. أبعاد الكمرات: 40 سم × 50 سم للكمرات بطول 6 متر. 40 سم × 60 سم للكمرات بطول 5 متر. 40 سم × 60 سم للكمرات الأرضية. أبعاد الأعمدة: 40 سم × 60 سم للأعمدة عند الزوايا.

40 سم × 50 سم للأعمدة الطرفية. 40 سم × 70 سم للأعمدة الداخلية.

### 3.2. الأحمال المعتبرة

الأحمال الميتة: حمل الحوائط على الكمرات الأرضية: 11.04 كيلو نيوتن/متر. وزن الطوب الأسمنتي على الكمرات بارتفاع 3.2 متر: 8.83 كيلو نيوتن/متر. التشطيبات: 1.1 كيلو نيوتن/متر مربع.

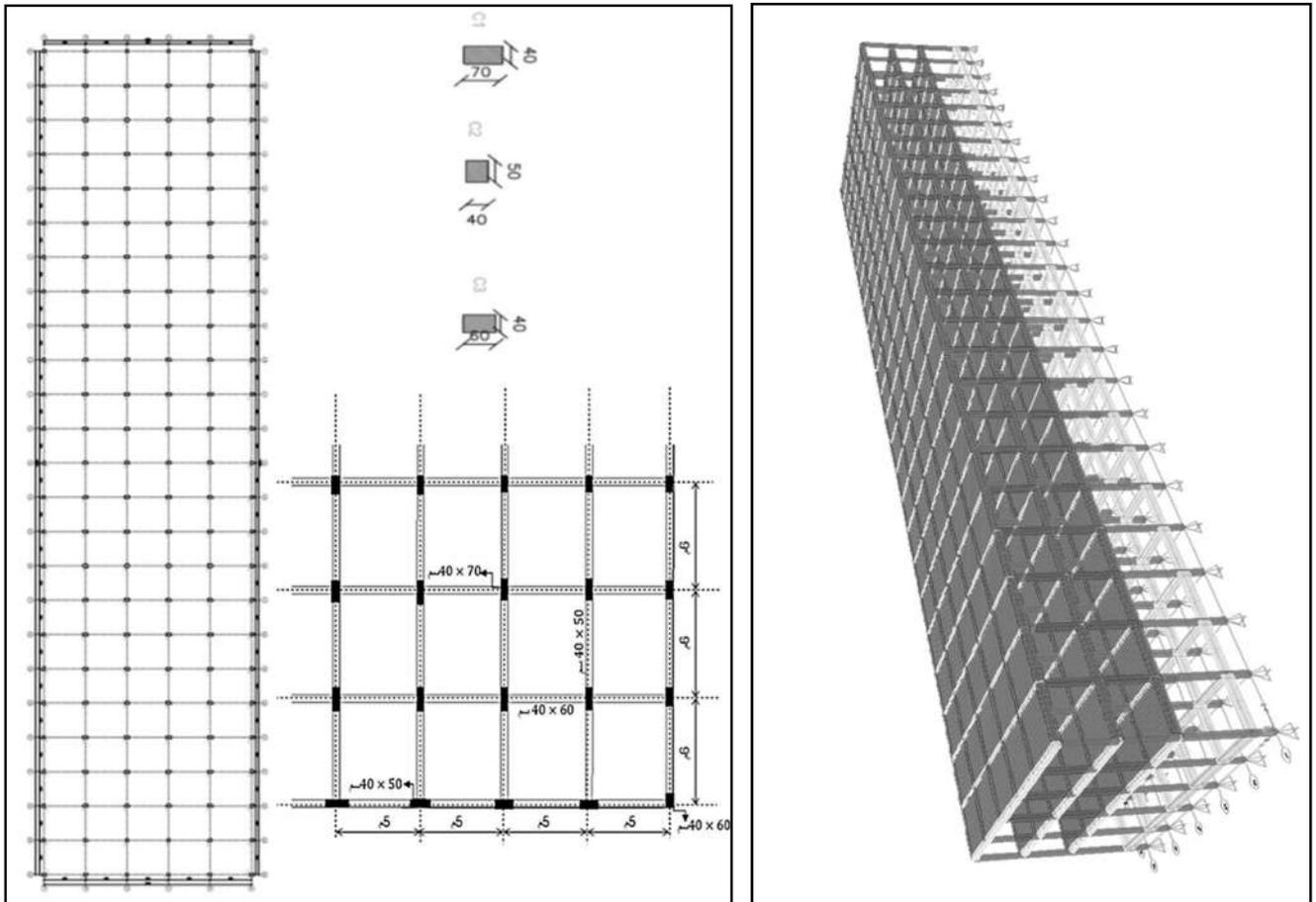
الحمل الحي على جميع الطوابق: 4 كيلو نيوتن/متر مربع.

## 4.2. الأحمال الحرارية

عندما يكون المبنى غير مشغول، يكون التغير في درجة الحرارة المحسوسة على الأسطح الخرسانية 60 درجة مئوية. عندما يكون المبنى مشغولاً، يكون التغير في درجة الحرارة للعناصر الداخلية للمبنى 25 درجة مئوية، في حين يكون التغير في درجة حرارة محيط المبنى 60 درجة مئوية.

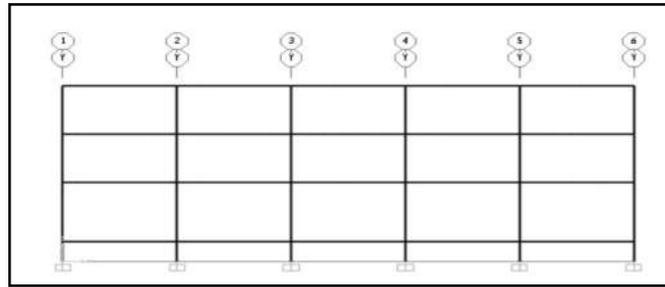
معامل التمدد الحراري للخرسانة:  $10^{-6} \times 10$ . مقاومة الخرسانة: 30 ميجا باسكال.

يبين الشكل (1)، المسقط الأفقي الهيكلي للمبنى (للمستوى X-Y)؛ يوضح الأبعاد وطريقة وضع الأعمدة في كل اتجاه لجزء زاوية نموذجية من المبنى. الشكل (2)، المبنى ثلاثي الأبعاد. الشكل (3)، يبين النموذج ثنائي الأبعاد (المستوى Y-Z). وأخيراً الشكل (4)، يوضح النموذج ثنائي الأبعاد (المستوى X-Z).

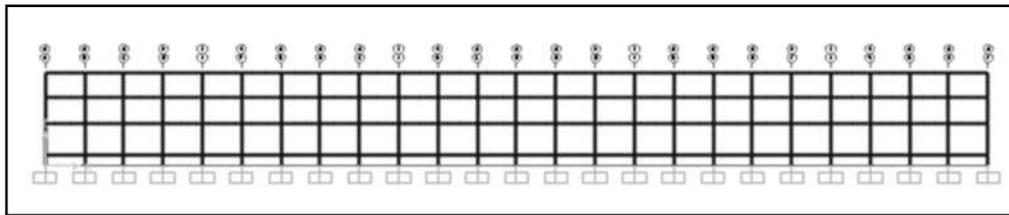


شكل (1): مسقط أفقي لمستوى بلاطة النموذج التحليلي  
بأبعاد 120\*30 متر (المستوى X-Y)

شكل (2): المبنى ثلاثي الأبعاد



شكل (3): النموذج ثنائي الأبعاد (المستوى Y-Z)



شكل (4): النموذج ثنائي الأبعاد (المستوى X-Z)

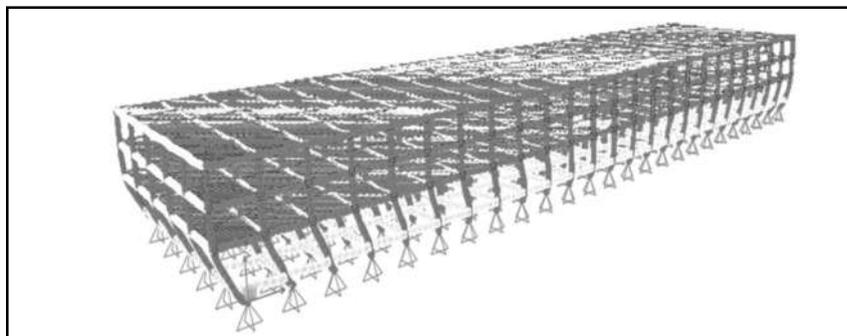
### 3. التحليل والنتائج

كحالة دراسة أولى فُرض أن المبنى قيد الدراسة غير مشغول، وأُجري التحليل الحراري على النموذجين "أ" و"ب".

#### 1.3 نموذج \_أ\_ أبعاد مسطح البناء 120\*30 متر (المبنى غير مشغول)

يتم تطبيق الأحمال الحرارية على جميع الاعضاء والعناصر الإنشائية للمبنى، حيث يكون التغير في درجة الحرارة بمقدار

60 درجة مئوية ( $\Delta T = 60^\circ C$ ). يُظهر الشكل (5) التشوه الناتج عن هذه التأثيرات الحرارية على المبنى ثلاثي الأبعاد.



شكل (5): تأثير الأحمال الحرارية على النموذج - أ ثلاثي الأبعاد، في حالة المبنى غير مشغول

يتم حساب أقصى تغير في الطول للمبنى الخرساني وفقاً للخطوات التالية:

$$f_t = 0.62\sqrt{f_c'} \quad \text{أقصى إجهاد شد للخرسانة:}$$

حيث:

$$f_t: \text{أقصى إجهاد شد للخرسانة (MPa)}$$

$$f_c': \text{مقاومة الخرسانة للضغط (MPa)}$$

$$f_t = 0.62\sqrt{30} = 3.396 \text{ Mpa} \quad \text{في هذه الحالة، } f_c' = 30 \text{ MPa} \quad \text{لذا:}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \quad \text{معامل المرونة للخرسانة [8]:}$$

حيث:

$$E_c: \text{معامل المرونة للخرسانة (MPa)}$$

$$E_c = 4700\sqrt{30} = 25742.960 \text{ Mpa} \quad \text{في هذه الحالة:}$$

$$\varepsilon = f_t / E_c \quad \text{حساب قيمة انفعال الخرسانة الفعلي:}$$

حيث:

$$\varepsilon: \text{انفعال الخرسانة الفعلي (Unitless)}$$

في هذه الحالة:

$$\varepsilon = \frac{3.3960}{25742.960} = 1.319 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon = \Delta L / l \rightarrow \therefore \Delta L = \varepsilon \times l \quad \text{حساب مقدار الحد الأقصى لتغير في الطول (الاستطالة):}$$

حيث:

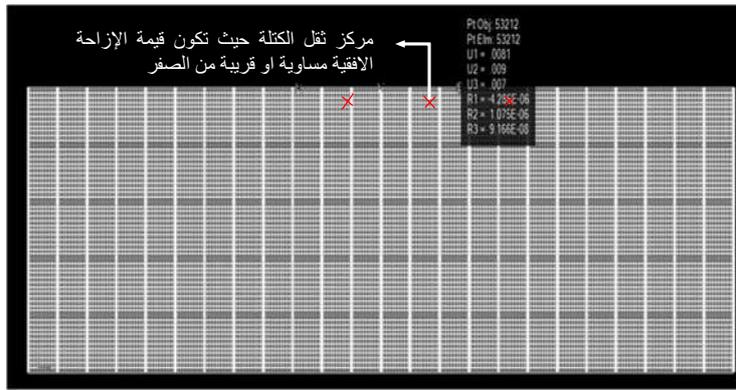
$$\Delta L: \text{مقدار الاستطالة (متر)}$$

$l$ : نصف طول المبنى (متر)

في هذه الحالة،  $l = 60$  متر، لذا:

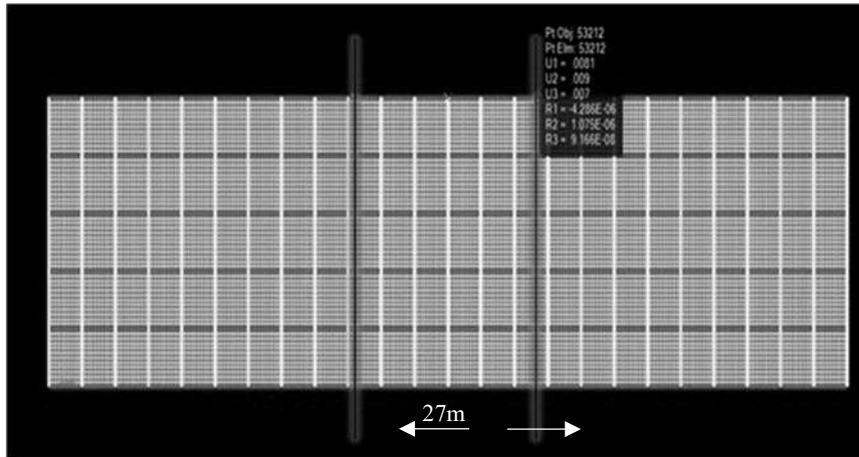
$$\Delta_L = 60 \times 1.31919 \times 10^{-4} = 0.007915 \cong 0.008m$$

يتم تحديد قيمة حد الاستطالة ( $\Delta_L$ ) يمين ويسار مركز ثقل الكتلة؛ وهي أقصى قيمة للإزاحة الأفقية المسموح بها؛ حيث تعتبر هذه القيمة حاسمة لضمان خلو جزء المبنى المحدد من الشروخ الناتجة من الحمل الحراري. يبين الشكل (6) قيمة حد الاستطالة المتمثلة في قيمة "U1" على المسقط الأفقي لمستوى بلاطة النموذج.



شكل (6): تحديد قيمة حد الاستطالة (المستوى x-y)

استنادًا على قيمة حد الاستطالة المحددة نستطيع القول أن التباعد بين فواصل التمدد في هذا الاتجاه من المبنى يجب ألا يزيد عن 27 مترًا تحت تأثير التغير في درجة الحرارة  $\Delta T = 60^\circ C$ ، ويُشار إلى أن هذه المسافة تم تحديدها بناءً على فرضية أن الخرسانة غير مسلحة. يبين الشكل أدناه تحديد التباعد بين فواصل التمدد.



شكل (7): تعيين التباعد بين فواصل التمدد

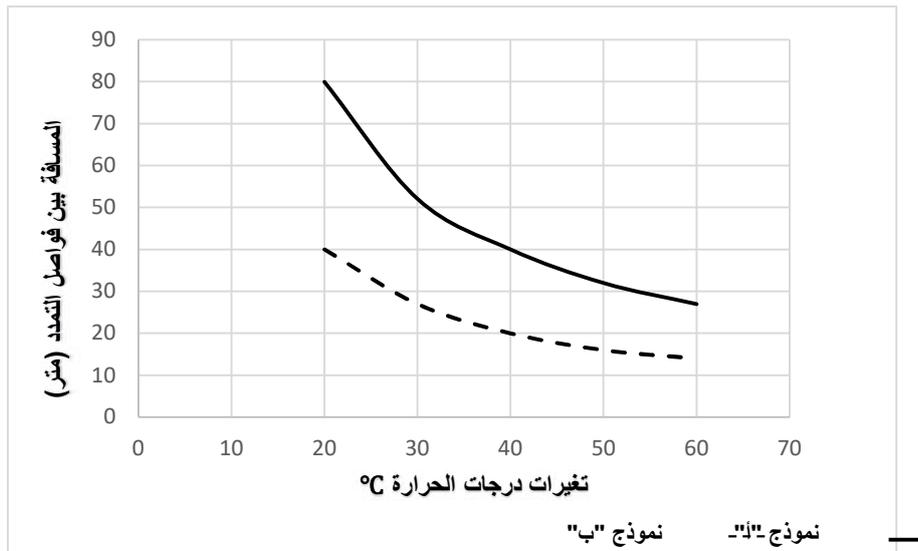
## 2.3. النموذج ب\_ أبعاد مسطح البناء 60 \* 30 متر (المبنى غير مشغول)

تم تطبيق تقنيات التحليل الحراري، الموضحة في النموذج أ، على النموذج ب. وحساب قيمة حد الاستطالة حيث وُجد أنها تساوي 0.04 متر. بناءً على هذه القيمة، تم تحديد التباعد الأقصى بين فواصل التمدد في هذه الحالة للنموذج "ب" ب 14 متر. تم تعريض المبنى لمجموعة متنوعة من التغيرات في درجة الحرارة لكلي النموذجين لتقييم تأثير تغيرات درجات الحرارة على مقدار التباعد بين فواصل التمدد. يظهر الجدول (1) نتائج التباعد الأقصى بين فواصل التمدد لكل نموذج عند كل تغير في درجة الحرارة.

جدول (1): التباعد بين فواصل التمدد حسب التغيرات المختلفة في درجات الحرارة

ر. ت	التغير في درجة الحرارة $\Delta T$ (°C)	النموذج "أ"		النموذج "ب"	
		مقدار التمدد (الاستطالة) $\Delta L$ (mm)	موضع فواصل التمدد	مقدار التمدد (الاستطالة) $\Delta L$ (mm)	موضع فواصل التمدد
1	20	12	عند كل 80 متر	6	عند كل 40 متر
2	30	18	عند كل 52 متر	9	عند كل 27 متر
3	40	24	عند كل 40 متر	12	عند كل 20 متر
4	50	30	عند كل 32 متر	15	عند كل 16 متر
5	60	36	عند كل 27 متر	18	عند كل 12 متر

تم رسم العلاقة بين تغيرات درجات الحرارة وموضع فواصل التمدد موضحة في الشكل (8).

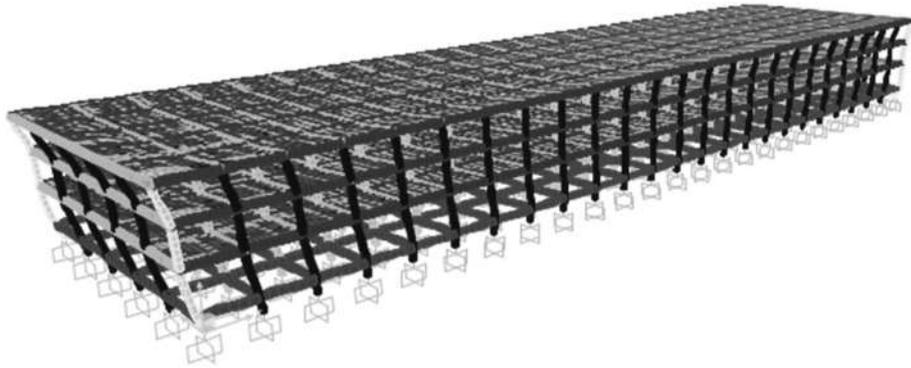


شكل رقم (8): العلاقة بين تغيرات درجات الحرارة والمسافة بين فواصل التمدد.

في إطار التحليل الحراري الثاني للنماذج أ و ب، تم افتراض أن المبنى مشغولاً؛ حيث تم تطبيق جميع الأحمال اللازمة لهذه الحالة؛ وتمثل ذلك في أخذ اختلاف التغيرات في درجات الحرارة الداخلية والخارجية للمبنى بعين الاعتبار.

### 3.3. النموذج \_أ\_ أبعاد مسطح بناء 120\*30 متر (المبنى مشغول)

يوضح الشكل (9) تشوهاً لمبنى ثلاثي الأبعاد، ناتج عن تأثير الأحمال الحرارية الداخلية والخارجية. تم تطبيق درجات حرارة 25 درجة مئوية و 60 درجة مئوية على التوالي داخل وخارج المبنى، مما أدى إلى حدوث تشوه في شكله.



شكل رقم (9): تأثير الأحمال الحرارية على النموذج - أ "3D"

بسبب التباين في تغيرات درجات الحرارة داخل وخارج المبنى، ينتج ذلك اختلاف في قيم التمدد الحاصل في كل طابق عند طرفي المبنى، وجد أن أعلى قيم للتمدد في الطابق العلوي، حيث وصلت قيمته إلى 32.7 ملليمتر. وعلى هذا الأساس، تم تحديد قيمة حد الاستطالة (أو قيمة التشوه القصوى المسموح بها المحسوبة) في هذا الطابق، باعتباره الأكثر عرضة للتمدد. ثم تم استقراء المسافة المثالية بين فواصل التمدد بناءً على قيمة حد الاستطالة المحددة كما هو موضح في الجدول (2).

جدول (2): التباعد بين فواصل التمدد لطابق العلوي في حالة المبنى مشغول (نموذج أ-)

التباعد بين فواصل التمدد $L_j(m)$	مقدار التمدد الحاصل عند أحد أطراف المبنى (mm)	حد الاستطالة $(m)\Delta L$	الطابق
30	32.7	0.008	الثالث

#### 4.3. النموذج ب\_ أبعاد مسطح بناء 60\*30 متر (المبنى مشغول)

الجدول (3) يُلخص النتائج المُستخرجة من التحليل الحراري لهذا النموذج، مع تحديد التباعد الأقصى بين فواصل التمدد المُقترح. وقد تم تحديد هذا التباعد بناءً على التشوهات بالطابق العلوي، الذي أظهر أعلى قيمة تمدد عند طرفي المبنى، كما هو الحال في النموذج أ.

جدول (3): التباعد بين فواصل التمدد لكل طابق في حالة المبنى مشغول (نموذج ب-)

التباعد بين فواصل التمدد $L_j(m)$	مقدار التمدد الحاصل عند أحد أطراف المبنى (mm)	حد الاستطالة $(m)\Delta L$	الطابق
13.5	17.1	0.004	الثالث

#### 5.3. تحليل نماذج (فايفر وداروين) باستخدام برنامج SAP2000

كوسيلة لمعايرة الطريقة المقترحة لتحديد التباعد الأمثل بين فواصل التمدد من جهة، ولبيان كفاءة الطرق التقليدية من جهة أخرى، تم تطبيق طريقة التحليل المتبعة في هذه الدراسة على اثنين من المنشآت ورد ذكرهم في ورقة بحثية سابقة لفايفر و داروين [9]؛ حيث تم تحليل المنشآت في هذه الورقة يدويًا باستخدام ثلاث طرق حسابية لتحديد موضع فواصل التمدد لكل منشأ. أخذت كل طريقة في الاعتبار خصائص المنشأة وتغيرات درجات الحرارة على أساس مختلف. فيما يلي يتم عرض خصائص المنشآت ونتائج التحليل المطبق بواسطة برنامج SAP2000 لحساب مقدار التباعد الأقصى لفواصل التمدد لكل منشأ موضحة في الجدول (4).

خصائص المنشأ (1): مستودع ذو طابق واحد. ارتفاع الطابق 20 قدم "6 متر". طول 210 قدم (64.05 متر) في اتجاه الشرق-الغرب. طول 600 قدم (183 متر) في اتجاه الشمال-الجنوب. مقاومة الخرسانة = 6000 ( $f'_c$ /رطل/بوصة مربعة. خواص المنشأ (2): مجمع تجاري مكون من أربع طوابق، ارتفاع كل طابق 14 قدم "4.3 متر". طول المبنى في اتجاه (الشرق-الغرب) = 210 قدم (64.05 م). طول المبنى في اتجاه (الشمال-الجنوب) = 600 قدم (183م).

جدول (4): نتائج تحليل نماذج فافير وداروين بإستخدام برمجية SAP2000 لتحديد موضع فواصل التمدد

اتجاهات المبنى	قيمة حد الاستطالة $\Delta L$	التغير في درجة الحرارة وفق كل طريقة	تحديد المسافة بين فواصل التمدد (استعراض نتائج الطرق الحسابية من ورقة فافير وداروين <sup>[9]</sup> )		تحديد المسافة بين فواصل التمدد بواسطة طريقة التحليل المتبعة في الدراسة	
			المنشأ (1)	المنشأ (2)	المنشأ (1)	المنشأ (2)
في اتجاه (الشرق-الغرب) =210 قدم (64.05 متر)	0.1658 بوصة	$\Delta T = 73.8^\circ\text{F}$ طريقة مارتن وأكوستا $\Delta T = 29.1^\circ\text{F}$ طريقة فارياني وراداجي	قدم 243.8 (74.31 متر)		70 قدم (21.35 متر)	---
			على أساس قاعدة العمود)	325 قدم (99.06 متر)	47.5 قدم (14.48 متر)	170 قدم (51.85 متر)
			على أساس أعلى العمود)	156.5 قدم (47.70 متر)	30.9 قدم (9.42 متر)	150 قدم (45.75 متر)
في اتجاه (الشمال-الجنوب) =600 قدم (183 متر)	0.473 بوصة	$\Delta T = 61^\circ\text{F}$ الأكاديمية الوطنية للعلوم (1974) $\Delta T = 73.8^\circ\text{F}$ طريقة مارتن وأكوستا $\Delta T = 29.1^\circ\text{F}$ طريقة فارياني وراداجي	340 قدم (103.63 متر)		80 قدم (24.4 متر)	70 قدم (21.35 متر)
			على أساس قاعدة العمود)	147.5 قدم (44.96 متر)	18.5 قدم (5.64 متر)	480 قدم (146.4 متر)
			على أساس أعلى العمود)	73.3 قدم (22.34 متر)	12.4 قدم (3.78 متر)	420 قدم (128.1 متر)
في اتجاه (الشرق-الغرب) =210 قدم (64.05 متر)	0.1658 بوصة	$\Delta T = 61^\circ\text{F}$ الأكاديمية الوطنية للعلوم (1974)	340 قدم (103.63 متر)		210 قدم (64.05 متر)	200 قدم (61 متر)
			على أساس قاعدة العمود)	147.5 قدم (44.96 متر)	18.5 قدم (5.64 متر)	480 قدم (146.4 متر)
في اتجاه (الشمال-الجنوب) =600 قدم (183 متر)	0.473 بوصة	$\Delta T = 61^\circ\text{F}$ الأكاديمية الوطنية للعلوم (1974)	340 قدم (103.63 متر)		210 قدم (64.05 متر)	200 قدم (61 متر)
			على أساس أعلى العمود)	73.3 قدم (22.34 متر)	12.4 قدم (3.78 متر)	420 قدم (128.1 متر)

#### 4. الاستنتاجات والتوصيات

- لا يمكن تحديد قيمة ثابتة لأقصى تباعد بين فواصل التمدد، حيث تختلف احتياجات كل مبنى بناءً على ظروفه الخاصة. كما أن التحليل الحراري يُعد ضروريًا للمباني ذات الكتل الكبيرة لتحديد عدد ومواقع فواصل التمدد المطلوبة.
- لا يتساوى التغير في درجات الحرارة لجميع أجزاء الهيكل، مما يجعل من الصعب التنبؤ بآثاره خلال مرحلة التصميم. لذلك تُطرح الطريقة المقترحة كوسيلة دقيقة وأكثر ملاءمة، مهما كان مقدار التغير.
- تباينت قيمة حد الاستطالة والتباعد الأقصى بين فواصل التمدد بين النموذجين أ و ب، وذلك بسبب اختلاف أبعادهما وشروط التحميل. يُؤكد ذلك على أهمية الأخذ بعين الاعتبار خصائص المبنى الفعلية عند تصميم فواصل التمدد.
- يشير الرسم البياني للنتائج في الشكل (8) إلى وجود علاقة عكسية بين التغير في درجات الحرارة وموضع فواصل التمدد. كلما زاد مقدار التغير في درجات الحرارة، قل التباعد بين فواصل التمدد. ويرجع ذلك إلى أن التغيرات الحرارية تُحدث ضغوطًا داخلية في المبنى، وتقل هذه الضغوطات مع تقارب التغير في درجات الحرارة بين مختلف أجزاء المبنى.

5. أظهرت النتائج الموضحة في الجدول (4) قيم تباعد مختلفة لفواصل التمدد بين الدراسة التحليلية الحالية والدراسات السابقة. حيث تم تحديد أن طريقة مارتن وأكوستا لا تأخذ في الاعتبار طول المبني، مما أدى إلى اختلاف نتائجها عن الدراسة الحالية. ثبت أيضًا أن طريقة فارياني وراذاجي معقدة وغير واقعية، كما أكد المعهد الأمريكي للخرسانة (ACI) [10]. توفر الطريقة الأكاديمية الوطنية للعلوم مخططًا بيانيًا سهل الاستخدام لتحديد أقصى تباعد بين فواصل التمدد، لكنها لا تأخذ في الاعتبار جميع العوامل المؤثرة، لذلك قد لا تنطبق على جميع الحالات.

6. يقترح الباحث زيادة المسافة بين فواصل التمدد عن تلك المحسوبة بواسطة التحليل الحراري، مأخوذًا في الاعتبار نسب حديد التسليح في العناصر الخرسانية (خصوصًا الأفقية منها)، بشرط التزام المصمم بنسب حديد التسليح الدنيا التي تنص عليها مواصفات البناء.

7. البحث جارٍ في دراسة أخرى يتم الاستعانة فيها ببرنامج الأباكوس لتحديد التباعد الأمثل بين فواصل التمدد، وذلك باعتبار وجود حديد التسليح داخل العناصر الخرسانية. في الأثناء، يقترح الباحثون زيادة التباعد بين فواصل التمدد المتحصل عليه بواسطة الأسلوب المقترح في هذه الدراسة، بنسبة 20%، بشرط الالتزام بنسب حديد التسليح التي تنص عليها مواصفات التصميم.

## 5. المراجع

1. Bazant, Z. P., and Jirasek, M., "Concrete Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures," John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2019.
2. PCA (Portland Cement Association), "Design and Control of Concrete Mixtures," 16th Edition, Portland Cement Association, Skokie, IL, 2016.
3. Choi, K., Kim, J., and Park, S., "Optimal Design of Expansion Joint for Building Structures," Journal of Structural Engineering, Vol. 131, No. 12, pp. 1808–1816, 2005.
4. Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1–1: General Rules and Rules for Buildings, European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium, 2004.
5. CEB–FIP Model Code 1990, "Design Code," Comité Euro–International du Béton, Lausanne, Switzerland, 1993.
6. Neville, A. M., "Properties of Concrete," 5th Edition, Pearson Education Limited, Harlow, England, 2011.
7. Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1–1: General Rules and Rules for Buildings, European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium, 2004.

8. ACI Committee 318, 2011, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-11), American Concrete Institute, PP. 115-290.
9. Pfeiffer, M., and Darwin, D. (1987).” Joint Design for Concrete Structures”.
10. ACI Committee 224, 2001, Joints in Concrete Construction (ACI 224.3R-80) (Revised 2001), pp. 1-14

## سلوك الألواح المرتكزة على التربة الرملية

أ. د. محمد امحمد شاهين<sup>1</sup>، م. عبير حمدو عبدالله حمدو<sup>2</sup>

1 كلية الهندسة جامعة مصراتة

2 مصلحة التخطيط العمراني فرع وادي الشاطئ

dr.mohzubi@gmail.com

### الملخص

تهدف هذه الورقة إلى دراسة سلوك الألواح المرتكزة على التربة الرملية، حيث تركز على إجراء تحليل عددي لغرض محاكاة سلوك الألواح المرتكزة على تربة رملية ذات كثافات مختلفة، مخلخلة ومتوسطة الكثافة وكثيفة باستخدام برنامج PLAXIS 3D، وقد كانت الألواح قيد الدراسة صلبة ومربعة منها الرفيعة بسمك 0.5 م والسميكة بسمك 1.3 م، وكانت أبعادها 10.0 م × 10.0 م، بينما كانت مساحة نموذج العناصر المحددة للتربة 100.0 م × 100.0 م وبعمق 30.0 متر. وقد تم تقدير الهبوط والعزوم عند منتصف اللوح لعدة قيم من الإجهادات المطبقة عليها، حيث أوضحت النتائج أن قيم الهبوط والعزوم للألواح الرفيعة قليلة مقارنة مع القيم المناظرة للألواح السميكة في حالة كثافات التربة الرملية المختارة للدراسة، وهذا يكون مفيداً للمهندسين الجيوتقنيين في تصميم انشاءات آمنة واقتصادية.

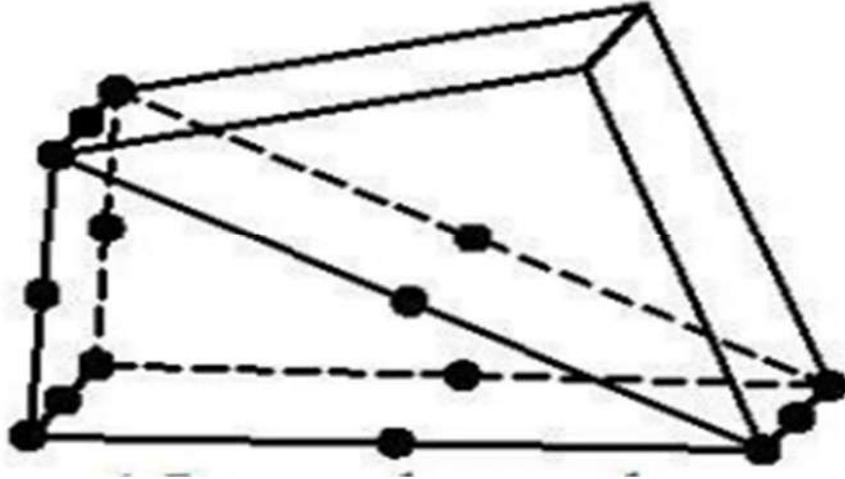
الكلمات المفتاحية: الألواح السميكة - الألواح الرفيعة - التربة الرملية الكثيفة - سلوك الألواح - طريقة العناصر المحددة.

### 1- المقدمة

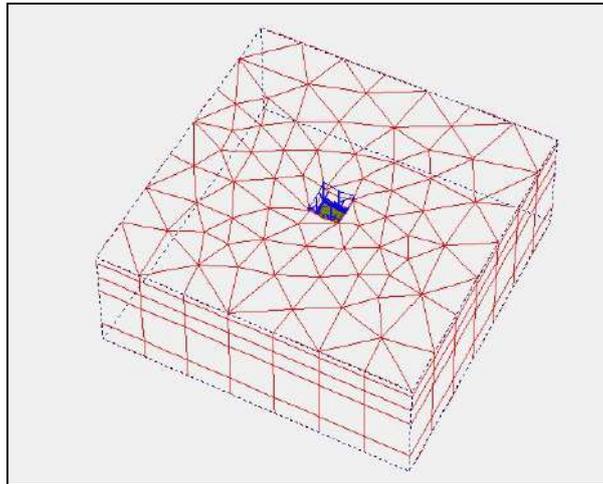
لتصميم الألواح المرتكزة على التربة، يمكن معاملة التربة على أنها سلسلة من النوايخ المنفصلة والتي تعرف بنموذج وينكلر أو السلسلة المستمرة، وقد تم تطوير هذا النموذج لغرض تمثيل السلوك الفيزيائي للتربة الساندة، ولكن عند تحسين دقة نموذج وينكلر أصبح أكثر تعقيداً ومن الصعب إيجاد حلول له، لذا تم استخدام نماذج العناصر المحددة (finite element model) كوسيلة فعالة لدراسة سلوك التربة - الأساس، والهدف من هذه الدراسة هو دراسة سلوك الألواح المرتكزة على التربة باستخدام برنامج العناصر المحددة، ويختص هذا البرنامج بتحليل التشوه والاستقرار ومسارات المياه الجوفية في الهندسة الجيوتقنية، ولقد تم استخدام هذا البرنامج على نطاق واسع عملياً لتحليل المشاريع الكبيرة والتنبؤ بأدائها.

### 2- نموذج العناصر المحددة

الشكلان (1)، (2) يوضحان طريقة التحليل باستخدام نموذج العناصر المحددة داخل برنامج PLAXIS 3D FOUNDATION



الشكل (1) عنصر مكون من 15 عقدة في برنامج PLAXIS 3D.



الشكل (2) نموذج العنصر المحدد

شملت الدراسة الواح مصنوعة من الخرسانة المسلحة، بحيث كان سمك اللوح الرفيع 0.5 م، وسمك اللوح السميك 1.30 م، في حين كانت أبعاد تلك الألواح  $10.0 \times 10.0$  م، بينما مساحة نموذج العناصر المحددة للتربة كانت  $100.0 \times 100.0$  م وعمق 30.0 م، وقد تم اختيار تربة رملية ذات كثافات مختلفة، منخفضة الكثافة ومتوسطة الكثافة وعالية الكثافة، والجدول رقم (1) يوضح خواص التربة الرملية المستخدمة في الدراسة، والتي خضعت لتطبيق الإجهادات التالية: (25، 50، 100، 125، 150، 175، 200) كن/م<sup>2</sup>.

الجدول (1) يوضح خواص التربة الرملية المستخدمة في برنامج PLAXIS 3D

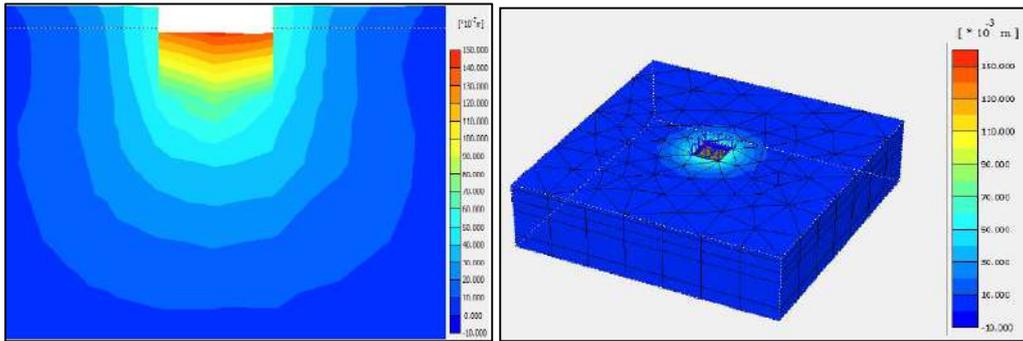
كثافة التربة	الكثافة الجافة	معامل المرونة	التماسك	نسبة الفراغات	الكثافة الرطبة
	KN/m <sup>3</sup>	KN/m <sup>2</sup>			KN/m <sup>3</sup>
تربة منخفضة الكثافة	16	10000	30	0.40	17
تربة متوسطة الكثافة	17	300000	35	0.35	18
تربة عالية الكثافة	18	500000	40	0.30	19

### 3- النتائج والمناقشة

يتم هنا استعراض نتائج الهبوط والعزوم للألواح الرفيعة والسميكة المرتكزة على تربة رملية ذات كثافات مختلفة.

#### 3-1 سلوك اللوح الرفيع

يبين الشكل (3) توزيع الهبوط وقيم الهبوط على التوالي في حالة اللوح الرفيع المرتكز على التربة الرملية المنخفضة الكثافة عند الإجهاد المطبق 200 كن/م<sup>2</sup>.

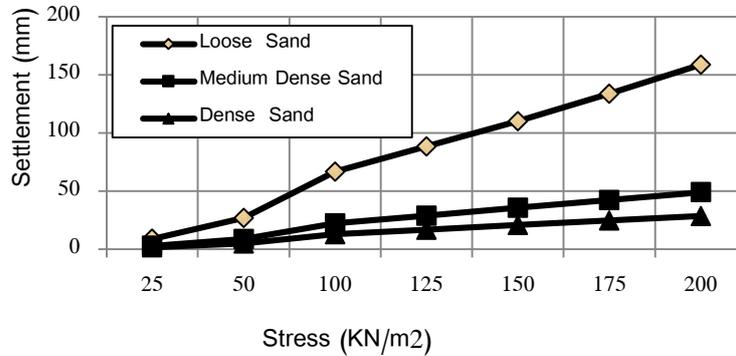


(3-ب)

(3-أ)

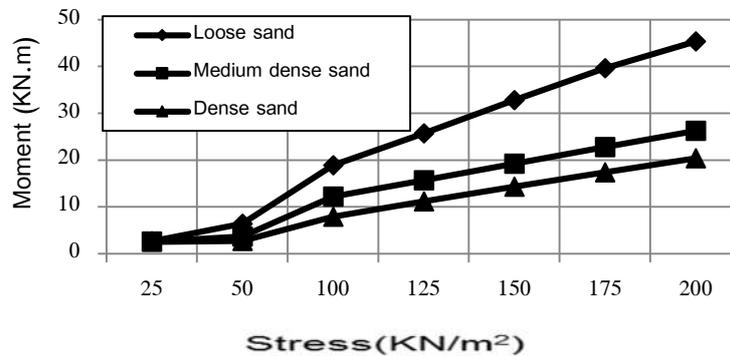
الشكل (3) يوضح الهبوط وتوزيع الهبوط في اللوح الرفيع المستند على التربة الرملية المنخفضة الكثافة عند إجهاد مطبق 200 كن/م<sup>2</sup>

يوضح الشكل (4) العلاقة بين الهبوط والإجهاد في اللوح الرفيع لكثافات مختلفة من التربة الرملية، ونلاحظ حدوث زيادة في قيمة الهبوط مع زيادة الإجهادات المطبقة، وتكون قيم الهبوط أكبر في حالة التربة الرملية منخفضة الكثافة.



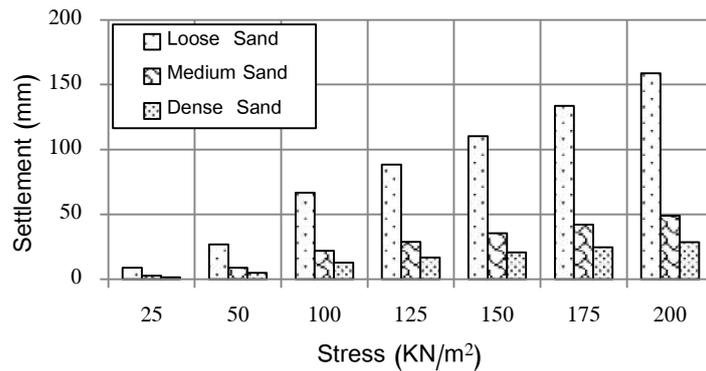
الشكل (4) يوضح العلاقة بين الهبوط والإجهاد للوح الرفيع لكثافات مختلفة من التربة الرملية

الشكل (5) يوضح العلاقة بين قيم العزوم والهبوط في الألواح الرفيعة، وبغض النظر عن كثافة التربة، فإنه من الواضح تزايد قيم العزوم بزيادة الإجهادات المطبقة.



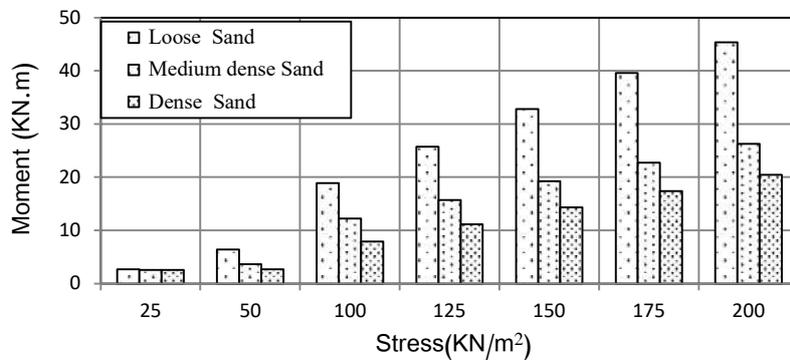
الشكل (5) يوضح العلاقة بين العزم والإجهاد للوح الرفيع لكثافات مختلفة من التربة الرملية

يبين الشكل (6) مقارنة بين الهبوط في اللوح الرفيع المرتكز على كثافات مختلفة من التربة الرملية عند إجهادات مختلفة، حيث يتضح بأن قيم الهبوط في التربة الرملية المنخفضة الكثافة تفوق قيم الهبوط في التربة الرملية الكثيفة بأكثر من خمسة أضعاف، كما تزيد عن قيم الهبوط في التربة الرملية ذات الكثافة المتوسطة بثلاثة أضعاف، في حين أن قيم الهبوط في التربة الرملية ذات الكثافة المتوسطة يساوي ضعف نظيراتها في التربة الرملية الكثيفة.



الشكل (6) يوضح مقارنة بين الهبوط في اللوح الرفيع المرتكز على تربة رملية ذات كثافات مختلفة وعند إجهادات مختلفة

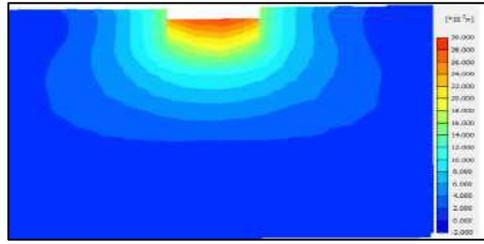
الشكل (7) يشير إلى المقارنة بين العزم للوح الرفيع المرتكز على تربة رملية ذات كثافات مختلفة بتطبيق إجهادات مختلفة، ومن الواضح أن أكبر قيمة للعزم تكون للوح الرفيع المرتكز على التربة الرملية منخفضة الكثافة بينما تكون أقل قيمة للعزم للوح الرفيع في حالة ارتكازه على التربة الرملية عالية الكثافة، كما أنه لا توجد فروق كبيرة بين العزم في اللوح الرفيع المرتكز على التربة الرملية متوسطة الكثافة وعالية الكثافة، بينما يكون العزم في حالة اللوح الرفيع المرتكز على التربة الرملية منخفضة الكثافة حوالي ضعفي العزم للوح الرفيع المستند على التربة الرملية ذات الكثافة المتوسطة وعالية الكثافة.



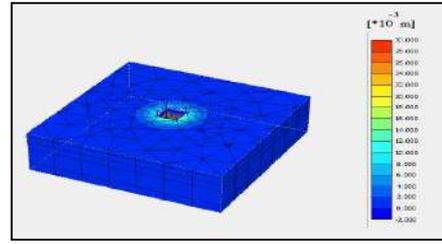
الشكل (7) يوضح مقارنة بين العزم في اللوح الرفيع المرتكز على تربة رملية ذات كثافات مختلفة وعند إجهادات مختلفة

### 2-3 سلوك اللوح السميك

الشكل رقم (8) يوضح مقطع لتوزيع الهبوط وقيم الهبوط للوح السميك المرتكز على التربة الرملية عالية الكثافة عند إجهاد مطبق 200 كن/م<sup>2</sup>.



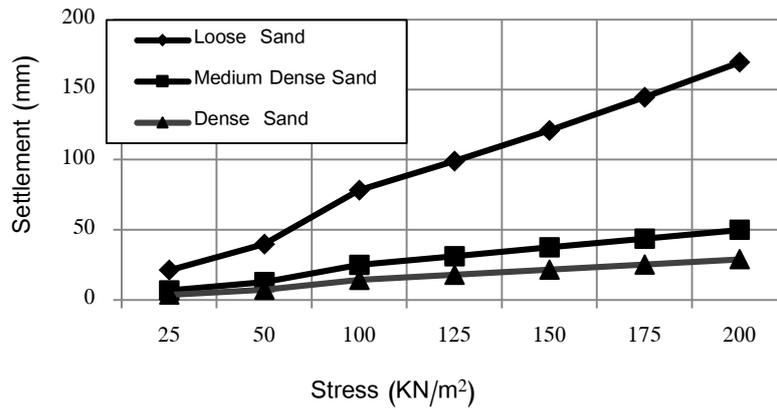
(ب-8)



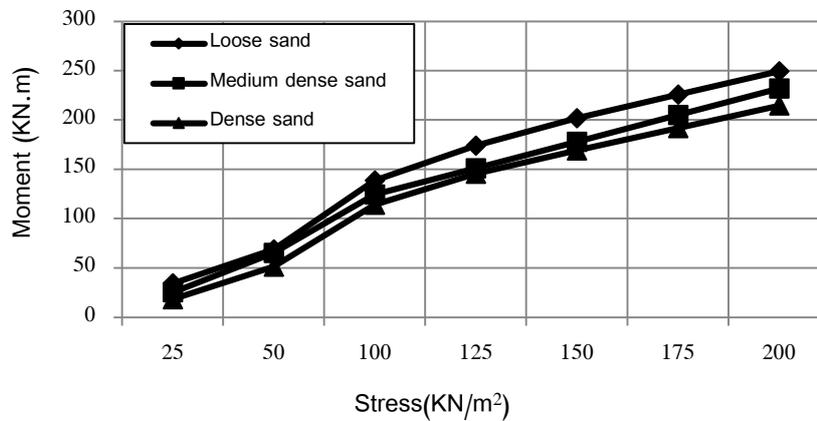
(أ-8)

الشكل (8) يوضح قيم الهبوط وتوزيع الهبوط في اللوح السميك المرتكز على تربة رملية عالية الكثافة عند إجهاد مطبق 200 كن/م<sup>2</sup>

يوضح الشكل (9) العلاقة بين الهبوط والإجهاد في اللوح السميك لكثافات مختلفة من التربة الرملية، ونلاحظ أنه هناك زيادة في هبوط التربة مع زيادة الإجهادات المطبقة لكثافات التربة المختلفة.

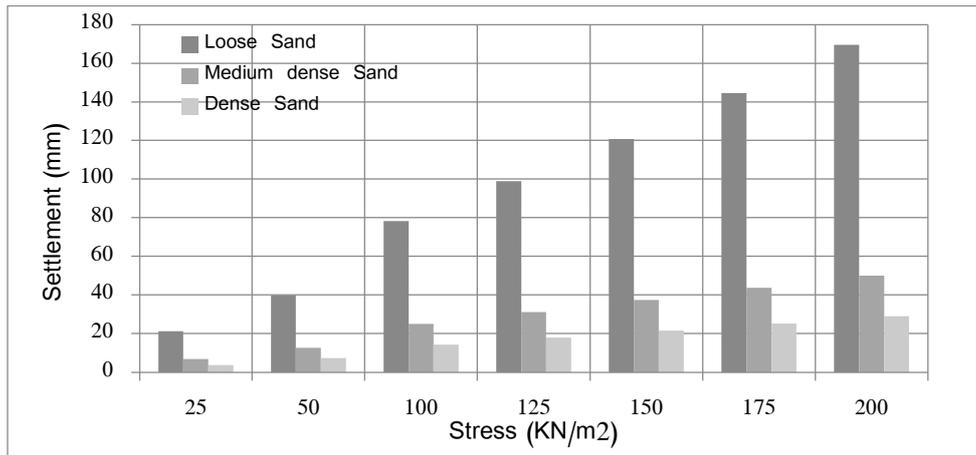


الشكل (9) يوضح العلاقة بين الهبوط والإجهاد للوح السميك لكثافات مختلفة من التربة الرملية



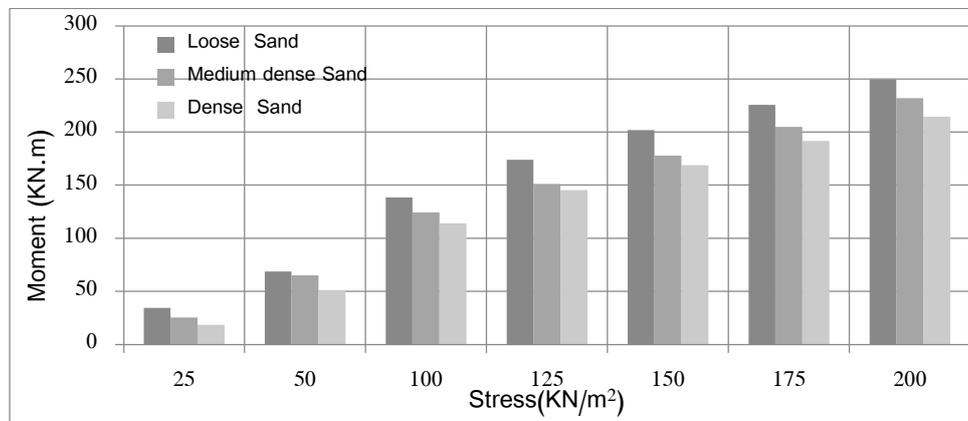
الشكل (10) يوضح العلاقة بين العزم والإجهاد للوح السميك لكثافات مختلفة من التربة الرملية

يبين الشكل (11) مقارنة بين الهبوط في اللوح الرفيع المستند على كثافات مختلفة من التربة الرملية، حيث يتضح أن قيم الهبوط في التربة الرملية المنخفضة الكثافة يفوق بستة أضعاف قيم الهبوط في التربة الرملية عالية الكثافة، بينما قيم الهبوط في التربة متوسطة الكثافة يُعادل ضعف قيم الهبوط في التربة عالية الكثافة من قيم الهبوط في التربة الرملية ذات الكثافة المتوسطة، كما أن قيم الهبوط في التربة الرملية ذات الكثافة المتوسطة يساوي ضعف قيم الهبوط في التربة الرملية الكثيفة، وبالتالي يتضح جلياً أن كثافة التربة لها تأثير كبير على هبوط التربة الرملية المستند عليها اللوح السميك.



الشكل (11) مقارنة بين الهبوط في اللوح السميك المستند على كثافات مختلفة للتربة الرملية عند إجهادات مختلفة

الشكل (12) يشير إلى المقارنة بين العزم للوح السميك المرتكز على تربة رملية ذات كثافات مختلفة وعند تطبيق إجهادات مختلفة، ومن ذلك يتضح أن قيم العزم في اللوح السميك المستند على التربة الرملية منخفضة الكثافة تكاد تكون متقاربة مع قيم الهبوط للوح السميك المستند على التربة الرملية متوسطة الكثافة وعالية الكثافة، ويكون الاختلاف طفيف بين القيم الثلاثة.



الشكل (12) مقارنة بين العزم في اللوح السميك المستند على كثافات مختلفة للتربة الرملية عند إجهادات مختلفة

تشير العلاقات المذكورة أعلاه إلى أن التربة الرملية عالية الكثافة والتربة الرملية ذات الكثافة المتوسطة مناسبة للاستخدام في النموذج. عندما تكون التكلفة التنفيذية هي الاعتبار الأساسي، يمكن استخدام تربة الرملية ذات الكثافة المتوسطة بجودة مقبولة.

تؤدي النتائج المذكورة أعلاه إلى استنتاج أن كثافة التربة الرملية لها تأثير ضئيل جداً على العزم في التربة الرملية التي يتم وضع اللوح السميك عليها.

هذا العمل أظهر سلوك الألواح الرفيعة والسميكة التي تركز على تربة رملية بكثافات مختلفة باستخدام برنامج PLAXIS 3D foundation للعناصر المحدودة.

بشكل أكثر تحديداً، قامت الدراسة بتقييم كمي عن طريق محاكاة PLAXIS لتأثير سمك الألواح وكثافة التربة الرملية على الهبوط والعزم.

#### 4- الاستنتاجات

من خلال هذه الدراسة تم استنتاج الآتي:

- 1- بالنسبة للتربة الرملية منخفضة الكثافة، هناك تباين ضئيل في قيم الهبوط بين كل من اللوح الرفيع والسميك.
- 2- بالنسبة للتربة الرملية المتوسطة الكثافة، لا يكاد يكون هناك أي تغيير في قيم الهبوط بين اللوح الرفيع والسميك.
- 3- بالنسبة للتربة الرملية عالية الكثافة، عند تغيير سمك اللوح، لا يوجد تباين كبير في قيم الهبوط، مشابهاً للتربة الرملية المتوسطة الكثافة.
- 4- بالنسبة لتربة الرملية منخفضة الكثافة، قيمة العزم في اللوح السميك تكون حوالي ستة أضعاف قيمة العزم في اللوح الرفيع.
- 5- بالنسبة للتربة الرملية متوسطة الكثافة، قيمة العزم في اللوح السميك تسع أضعاف قيمة العزم في اللوح الرفيع.
- 6- بالنسبة لتربة الرملية عالية الكثافة، قيمة العزم في اللوح السميك تكون حوالي عشر أضعاف قيمة العزم في اللوحة الرفيعة.
- 7- كل من التربة الرملية متوسطة الكثافة والتربة الرملية عالية الكثافة مناسبة للاستخدام في النموذج.
- 8- من الناحية الاقتصادية، يمكننا استخدام التربة الرملية متوسطة الكثافة.
- 9- سمك اللوح له تأثير كبير على العزم في الألواح المرتكزة على كثافات مختلفة من التربة الرملية.
- 10- اللوح الرفيع يكون خياراً مثالياً في تنفيذ النموذج لتقليل العزم وتكاليف التنفيذ.

## 5- التوصيات

بناءً على النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة نوصي بإجراء المزيد من الدراسات لتقييم سلوك الألواح مع الأخذ في الاعتبار العوامل التالية مثل:

- 1- طبقات التربة غير المتجانسة (non-homogeneous soil layers).
- 2- استخدام الألواح المستطيلة الشكل.
- 3- دراسة سلوك (steel plate) المرتكزة على أنواع مختلفة من التربة.
- 4- دراسة سلوك اللوح المرتكز على أنواع وكثافات مختلفة من التربة التي لم يتم التطرق إليها في هذه الدراسة.
- 5- الأخذ في الاعتبار بعض خواص التربة (consolidation).
- 6- استخدام اختبارات حقلية لأشكال هندسية مختلفة.

## المراجع:

1. 3D-PLAXIS-Corporation 2006. PLAXIS, 3D foundation Manual Version 1.5.
2. Abdul Hussein, H. 2011. Effects of flexural rigidity and soil modulus on the linear static analysis of raft foundations. Journal of Babylon University, Pure and Applied Sciences, 19
3. AL-Hosani, K. 2001. A non-singular fundamental solution for boundary element analysis of thick plates on Winkler foundation under generalized loading. Computers & Structures, 79, 2767-2780.
4. Al-Hosani, K. I. A. 1991. Stress analysis of thin and thick plates on elastic foundations using boundary and finite element methods.
5. Altoé, M., Ribeiro, N. & Karam, V. 2015. Analysis of simply supported and clamped Reissner's plates on Pasternak-type foundation by the Boundary Element Method. Engineering analysis with boundary elements, 52, 64-70.
6. Cheung, Y. And Zinkiewicz, O. 1965. Plates and tanks on elastic foundations—an application of finite element method. International Journal of Solids and Structures, 1, 451-461.
7. Civalek, Ö. 2007. Nonlinear Analysis of Thin Rectangular Plates on Winkler-Pasternak Elastic Foundations by DSC-HDQ Methods. Applied Mathematical Modelling, 31, 606-624.

8. Civalek, O. and Yavas, A. 2006. Large deflection static analysis of rectangular plates on two parameter elastic foundations. International Journal of Science and Technology, 1, 43-50.
9. Moayed, R. Z. and Janbaz, M. 2008. Foundation size effect on modulus of subgrade reaction in clayey soil. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 13, 1-8.
- 10.10- Saad Eldin, M. & EL-HELLOTY, A. 2014. Effect of Opening on Behaviour of Raft Foundations Resting on Different Types of Sand Soil. International Journal of Computer Applications, 94(7),34-40.

## دراسة عددية لسلوك الإنحناء للكمرات المركبة الخرسانية الهندسية فائقة الأداء المدعمة (UHP-ECC)

رحمة فرج حسون\* 1 احمد مصطفى يس 2

\*1 محاضر في الهندسة المدنية قسم الهندسة المدنية كلية الهندسة جامعة سرت ليبيا

2مدرس بقسم الهندسة المدنية، المعهد العالي للهندسة والتكنولوجيا، كينج مريوط، مصر،

\* المراسلة rahma.faraj@yahoo.com

### الملخص

في السنوات الأخيرة، أبدى باحثو الهندسة المدنية اهتمامًا كبيرًا بالمركب الخرساني الهندسي فائق الأداء (UHP-ECC) بسبب أدائه الميكانيكي العالي بشكل ملحوظ. يستخدم هذا البحث برنامج أنسيس (ANSYS) لإجراء تحليل عددي لسلوك الانحناء للكمرات المقواة (UHP-ECC). يقدم هذا البحث دراسة عددية لثمانية كمرات (UHP-ECC) بنسب مختلفة لتسليح حديد الشد لدراسة تأثيرها على سلوك الانثناء. تم دراسة نسب تسليح لحديد الشد 0.49، 0.88، 1.11، 1.37، 1.65، 2.14، 2.68، 3.50%. أظهرت النتائج أن زيادة نسبة تسليح الشد تزيد من قدرة الانحناء النهائية للكمرات UHP-ECC و تربطهم علاقة من الدرجة الثالثة. بالإضافة إلى ذلك، تم اقتراح معادلات جديدة مستوحاة من معادلات الجمعية اليابانية للمهندسين المدنيين، سلسلة هندسة الخرسانة 82 (JSCE No.82-2008)، وأظهرت دقة مناسبة عند مقارنتها بالنتائج المستمدة من التحليل العددي.

الكلمات الدالة: الخرسانة فائقة الاداء، المركبة الأسمنتية الهندسية، المركبة الخرسانية الهندسية فائقة الأداء المدعمة، الفايبر، أنسيس

### المقدمة:

أدى التحضر إلى زيادة نطاق تشييد المباني، تم تطوير تكنولوجيا خرسانية أكثر متانة. تعتبر الصفات الميكانيكية القوية مثل القوة والليونة مثيرة للقلق. في السنوات السابقة، تم تصميم فئة خرسانية جديدة، وهي مركب أسمنتي هندسي عالي الأداء (UHP-ECC)، لتلبية هذه الخصائص [1,2]. إن فهم عملية تصميم المركبات الأسمنتية الهندسية (ECC) [2] والخرسانة فائقة الأداء [3] (UHPC) يمكن أن يساعد UHP-ECC في تحقيق قوة ضغط تزيد عن 100 ميجاباسكال في 28 يومًا وانفعالات شد تزيد عن 3.0%.

تم إنشاء مركب أسمنتي هندسي عالي الأداء (UHP-ECC) باستخدام ألياف الولي ايتلين بواسطة Yu et al. [4] (2020) فهو يجمع بين خصائص التشققات المتعددة والتصلب بالإجهاد والخصائص الميكانيكية العالية. في ظل ظروف المعالجة النموذجية، وصلت قوة الضغط لـ UHP-ECC إلى 150 ميجا باسكال بعد 28 يومًا، في حين كانت مقاومة الشد وسعة الأنفعال في الشد 18 ميجا باسكال و8% على التوالي. وعلاوة على ذلك، Yu وآخرون. اقترح نموذج إجهاد الشد المباشر لـ UHP-ECC. أنشأ Gabriel et al. (2021) [1] ثلاث مواد UHP-ECC جديدة باستخدام مكونات يسهل العثور عليها في المنطقة. تتمتع هذه المواد بقوة ضغط عالية جدًا (< 120 ميجا باسكال) وليونة تشبه (ECC) سعة إنفعال الشد < 2%.

من أجل تحقيق قوة شد واستطالة تبلغ 20 ميغا باسكال و8.7% على التوالي، قام [5] Yu et al. (2018) تم تطوير UHP-ECC باستخدام ألياف من البولي إيثيلين. [6] Yu et al. (2018) تم التحقيق في خصائص الشد المباشر لـ UHP-ECC بمعدلات إفعال تتراوح من 0.0001 إلى 0.05 ثانية<sup>1</sup>. تتكون الألياف المقواة في-UHP ECC من ثلاثة أنواع من ألياف البولي إيثيلين، ولكل منها نسبة عرض إلى ارتفاع مميزة للألياف. ووفقاً لنتائج الاختبار، كان هناك الإجهاد وقدرة الانفعال وتأثير كبير على معدل إجهاد بداية التشقق. باستخدام اختبار الانحناء رباعي النقاط، [7] Sui et al. (2018) أجرى تحقيقاً تجريبياً لأداء التعب في UHP-ECC عند أربعة مستويات مختلفة من إجهاد التعب. وأظهرت النتيجة أن طول المرحلة الثانية ودرجة التشوه، والتي كانت مرتبطة بشكل مباشر بكمية وكثافة الشقوق، كانت المحددات الأساسية لعمر التعب

[8] Ding et al. (2018) قام بدراسة ومقارنة كمرات المركب الأسمنتي (UHP-ECC) عالي الأداء المسلحة مع كمرات من الخرسانة المسلحة تحت الانحناء. تم اختبار كمرات المسلحة (RU) UHP-ECC لأداء الانحناء والقصر باستخدام سلسلتين من كمرات. تتمتع UHP-ECC بقوة شد تبلغ 16 ميغا باسكال وقدرة إجهاد تبلغ 8%. وكانت نسب حديد التسليح الطولية للكمرات (RU, RC) 0.69%، 1.86%، و2.94%. رصد جهاز الصور الرقمية (DIC) انتشار شروخ على كمرات RU و RC و نوع الأنهيان. تمت مقارنة علاقات إزاحة مع حمل الكمرات RU، وقيم مؤشر الليونة، والإجهادات، بما في ذلك حديد التسليح وUHP-ECC، بالكمرات RC. تتمتع كمرات RU بقدرة تحميل وليونة أفضل من كمرات RC في حالة الحد النهائي، وكان عرض الشقوق والانحراف عند حالة حد قابلية الخدمة أقل بكثير. تتمتع كمرات (NU) UHP-ECC غير الفولاذية بقدرة تحميل مماثلة لكمرات RC مع نسبة تقوية تبلغ 1.86%، مما يشير إلى أن UHP-ECC قد يمكن استخدامها بدون حديد التسليح في الأعضاء الهيكلية.

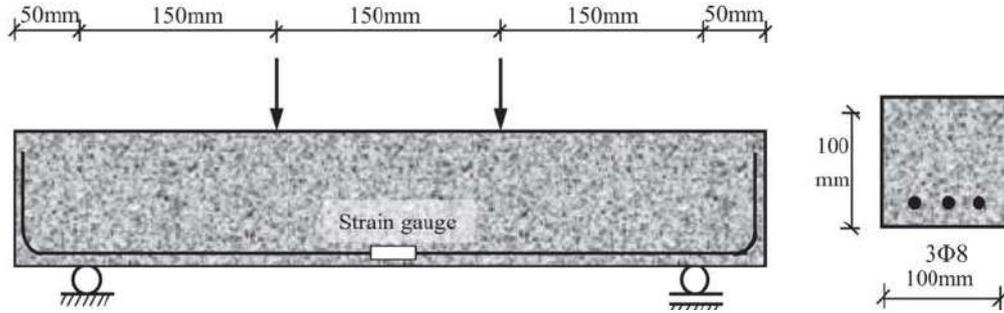
[9] Zeng et al. (2023) استخدم UHP-ECC كمادة إضافية لاختبار أحد عشر عموداً واسع النطاق من الخرسانة المسلحة المربعة المحصورة بـ FRP مع انحناء القطاع (SC). تم إجراء برنامج عملي للتحقق من قدرة تحمل الأنابيب الخرسانية المسلحة ذات عيوب تخفيف التآكل المعالجة بالخرسانة فائقة الأداء بواسطة Zhang et al. عام 2023 [10]. Zeng et al. (2024) [11] تم تنفيذ انحناء القطاع (SC) لتحسين قوة الانحناء والمحور للأعمدة الخرسانية باستخدام UHP-ECC كخرسانة إضافية المستخدمة في (SC). من أجل فهم الإجراء المركب بين FRP وUHP-ECC، [12] Zhu et al. (2024) قدم دراسة تجريبية تعتمد على اختبارات الانحناء رباعية الأطراف، والأداء الميكانيكي للخرسانة فائقة القوة المقواة بـ (UHSC) بدون ألياف و (FRP)، و-UHP ECC المقوى بـ FRP مع 2% بولي إيثيلين (PE) الألياف.

من الدراسات المذكورة أعلاه، تعد الدراسة العددية لسلوك الانثناء UHP-ECC باستخدام برنامج العناصر المحدودة ANSYS واعدة وفريدة من نوعها بسبب التكلفة العالية لتنفيذ اختبارات على عينات ذات أبعاد كبيرة من UHP-ECC. تم التحقق من سلوك الانحناء لكمرات UHP-ECC في دراسة تجريبية سابقة باستخدام النموذج التأسيسي

Menetrey-Willam الذي تمت إضافته مؤخرًا إلى ANSYS 2023 . بعد ذلك، تم إجراء دراسة بارامترية تعتمد على ثمانية UHP-ECC مع نسب تقوية شد مختلفة لتغطية سلوك الانثناء للكمرات UHP-ECC.

### 1. النمذجة العددية لكمرات UHP-ECC الذي تم اختبارها بواسطة (Ding et al. (2018)

هذا الجزء يوضح كيفية عمل التحليل العددي لنمذجة العناصر المحدودة (FEM) باستخدام برنامج ANSYS Workbench 2023 R2 للكمرات UHP-ECC التي تم اختبارها بواسطة (Ding et al. (2018) [8]. يوضح الشكل 1 تفاصيل الكمرة UHP-ECC (RU3Φ8-NS) التي تم اختبارها بواسطة [8]. بالإضافة إلى ذلك، يعرض الجدول 1 تفاصيل الخصائص الميكانيكية لـ UHP-ECC المستخدمة في الكمرة (RU3Φ8-NS) التي تم اختبارها بواسطة [8].

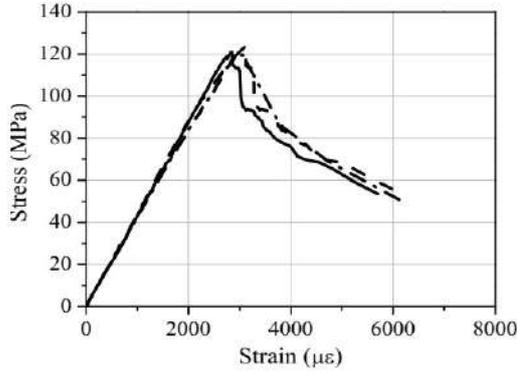


شكل رقم (1): تفاصيل الكمرة UHP-ECC (RU3Φ8-NS) المختبرة عن طريق [8]

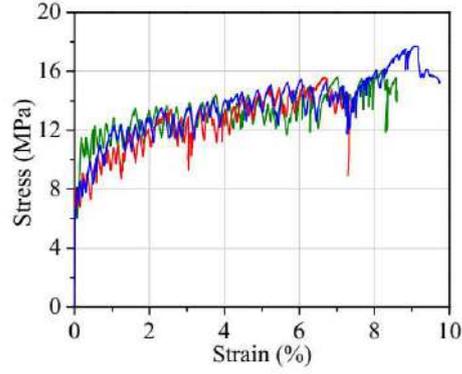
جدول (1): تفاصيل الكمرة UHP-ECC (RU3Φ8-NS) المختبرة عن طريق [8]

العينة	الأبعاد (مم)			خصائص الخرسانة				التسليح	$\rho$ (%)	$V_f$ (%)
	L	b	h	$f'_c$ (MPa)	$f_{tc}$ (MPa)	$f_{tp}$ (MPa)	$\epsilon_{tp}$ (%)			
RU3Φ8-NS	450	100	100	119.6	9.19	16.46	8.00	3Φ8	1.86	2.00

شكل رقم 2 يظهر منحنيات الإجهاد والانفعال لعينة الأسطوانة UHP-ECC تحت الضغط محوري تم اختبارها بواسطة (Ding et al. (2018). بينما تم اختبار منحنيات الإجهاد والانفعال لعينة UHP-ECC تحت الشد المحوري بواسطة (Ding et al. (2018) كما هو مبين في الشكل 3.



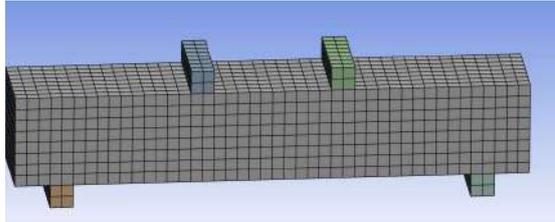
شكل رقم (2): منحنيات الأجهاد و الانفعال لأختبار الضغط لأسطوانة من UHP-ECC المختبرة عن طريق Ding et al.



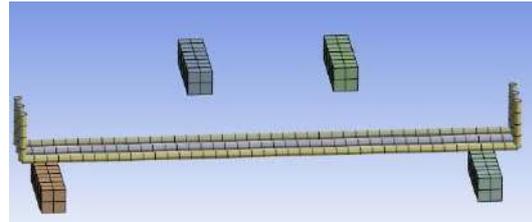
شكل رقم (3): منحنيات الأجهاد و الانفعال لأختبار الشد لعينة من UHP-ECC المختبرة عن طريق Ding et al.

### 1.1. نمذجة العناصر المحددة (FEM)

تم استخدام العناصر ثلاثية الأبعاد ذات العقد الثمانية SOLID185 لنمذجة كمرات UHP-ECC. يوضح الشكل 4 شبكة كمرات الخرسانة وعنصر SOLID185 المكون من 8 نقاط. يحتوي العنصر على ثماني عقد مع ثلاث درجات من الحرية في كل عقدة: الحركة في الاتجاهات العقدية x و y و z. أيضًا، تم استخدام عنصر ذو 8 نقاط SOLID185 لنمذجة ألواح التحميل والدعامات الفولاذية. تمت نمذجة جميع اسياخ التسليح باستخدام عناصر LINK180 غير الخطية ثلاثية الأبعاد، كما هو موضح في الشكل 5.



شكل رقم (4): نمذجة الخرسانة للكمرة RU3Φ8-NS المختبرة عن طريق Ding et al.

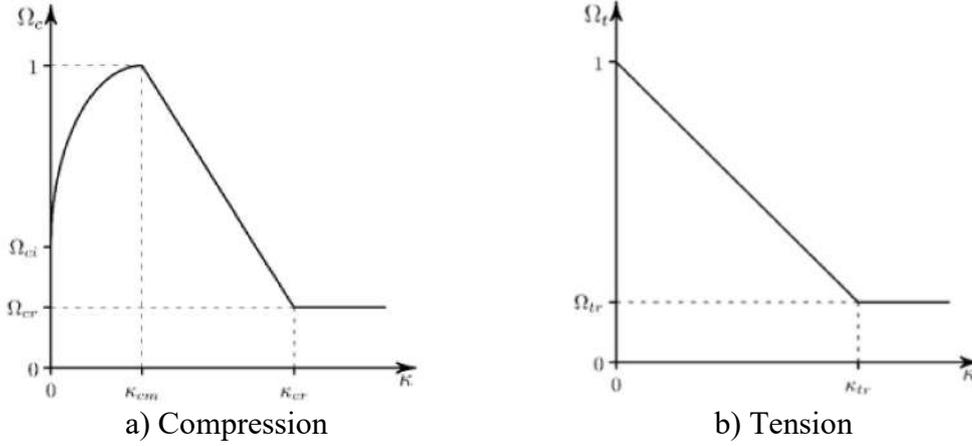


شكل رقم (5): نمذجة حديد التسليح للكمرة RU3Φ8-NS المختبرة عن طريق Ding et al.

بالنسبة لتحليل الخرسانة في ANSYS، يتم حساب نموذج Menetrey-Willam التكويني بواسطة عنصر الخرسانة SOLID185. يعتمد نموذج Menetrey-Willam التكويني على سطح الخضوع Willam-Warnke [13]، مع الاعتماد على ثلاثة ثوابت موتر إجهاد مستقلة.

يتم تحديد سلوك التصلب-التلين لسطح الخضوع من خلال وظائف التصلب-التلين  $\Omega_t$  و  $\Omega_c$ . تعتمد هذه الوظائف على متغيرات التصلب بالضغط والشد. يقدم نموذج Menetrey-Willam التكويني دالتين لخضوع التلين: دالات

تليين خطية و أسية. في هذه الدراسة، تم استخدام دالة التليين الخطية بسبب سلوك UHP-ECC، كما هو موضح في الشكل 6.



شكل رقم (6): التليين الخطي في الضغط و الشد طبقا لنموذج Menetrey-Willam [13].

تتطلب نمذجة المواد للخرسانة في ANSYS باستخدام النموذج التأسيسي Menetrey-Willam مع دالة إنتاجية التليين الخطية تحديد اثني عشر معامل [13]، كما هو موضح في الجدول 2. علاقة الإجهاد والانفعال الثنائية تمثل سلوك المادة أحادية المحور لحديد التسليح. بينما قامت علاقة الإجهاد والانفعال الخطية بنمذجة سلوك المواد أحادية المحور للألواح والدعامات الفولاذية. تم دمج جميع نقاط التقاطع بين الخرسانة وحديد التسليح لتحديد أن حديد التسليح مدمج في الخرسانة. يفترض وجود ترابط كامل بين التسليح والخرسانة. تم تحميل العارضة باستخدام نظام التحكم في الإزاحة من خلال تطبيق الإزاحة من خلال لوحة التحميل الفولاذية، وتمت زيادة الإزاحة تدريجيًا بمعدل 0.1 مم لكل تحميلية. تم اعتبار الشروط التثبيت للكمرة ككمرة بسيطة الارتكاز.

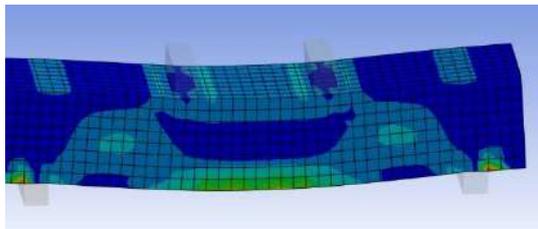
جدول (2): معاملات المواد المستخدمة في التحليل العددي

Denotation	The proposed value for UHP-ECC Beam
<b>Concrete parameters according to the Menetrey-Willam constitutive model</b>	
Modulus of elasticity, $E_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	According to experimental results
Poisson's ratio, $\nu_c$	According to experimental results
Uniaxial compressive strength ( $R_c$ ), $f'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	According to experimental results
Uniaxial tensile strength ( $R_t$ ), $f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	According to experimental results
Biaxial compressive strength ( $R_b$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	$1.2 f'_c$
Dilatancy angle ( $\psi$ ), (Degrees)	$10^\circ$
Plastic strain at uniaxial compressive strength ( $k_{cm}$ )	According to experimental results

Ultimate effective plastic strain in compression ( $k_{cr}$ )	According to experimental results
Relative stress at the start of nonlinear hardening ( $\Omega_{ci}$ )	According to experimental results
Residual compressive relative stress ( $\Omega_{cr}$ )	According to experimental results
Plastic strain limit in tension ( $k_{tr}$ )	According to experimental results
Residual tensile relative stress ( $\Omega_{tr}$ )	According to experimental results
<b>Material parameters for steel reinforcement</b>	
Poisson's ratio, $\nu_s$	0.3
Modulus of Elasticity, $E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	200000
Yield stress, $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	According to experimental results
Plastic Modulus, $E_{sc}$ (N/mm <sup>2</sup> )	2100
<b>Material parameters for steel loading plate and steel supports</b>	
Poisson's ratio, $u_s$	0.3
Modulus of Elasticity, $E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	200000
Yield stress, $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	500

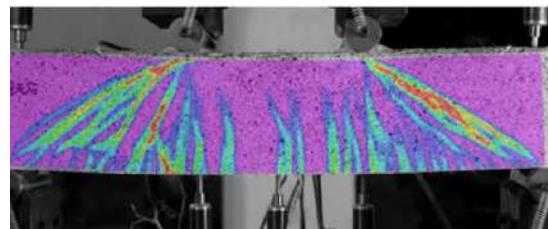
### 1.2. نتائج FEM والتحقق من صحتها

كان الحمل النهائي الذي تم الحصول عليه من FEM هو 110 كيلو نيوتن، أي حوالي 1.03 من الحمل النهائي الذي تم الحصول عليه من التجربة. كما أن الانحراف الناتج من نتائج FEM يظهر توافقاً جيداً مع التجربة التجريبية بنسبة 0.97. نسبة النتائج التجريبية إلى نتائج FEM تساوي تقريباً 1.00. تجدر الإشارة إلى أن FEM يظهر نفس سلوك النتائج التجريبية. كما أشارت النتائج إلى مدى ملاءمة النمذجة الخرسانية المستخدمة في التحليل.



شكل رقم (7): انفعالات الشد الرئيسية للكمرة

Ding et al. المختبرة عن طريق RU3Φ8-NS



شكل رقم (8): شكل التشريح للكمرة RU3Φ8-NS

Ding et al. المختبرة عن طريق

يوضح الشكل 7 إنفعالات الشد الرئيسية لـ FEM للكمرة RU3Φ8-NS التي تم اختبارها بواسطة [8]. بينما يوضح الشكل 8. شكل الشروخ لكمرة RU3Φ8-NS التي تم اختبارها بواسطة [8]. يظهر الشكلان نفس السلوك تقريباً. قد تمثل انفعالات الشد الرئيسية شكل الشروخ. كما أشارت النتائج إلى مدى ملاءمة شكل الشروخ بين النتائج التجريبية ونتائج FEM.

أخيراً، وفقاً بمقارنة النتائج المعملية بنتائج FEM، يمكن استنتاج قدرة النموذج التأسيسي Menetrey-Willam مع دالة إنتاجية التلدين الخطي على محاكاة سلوك الانحناء لكمرات UHP-ECC.

## 2. الدراسة البارامترية

تم استخدام نموذج التحليل المحدود غير الخطي الذي تم التحقق منه في القسم السابق لتحليل تأثير النسبة المئوية لحديد التسليح الطولي ( $\rho$ ) على قوة الانحناء لكمرات UHP-ECC.

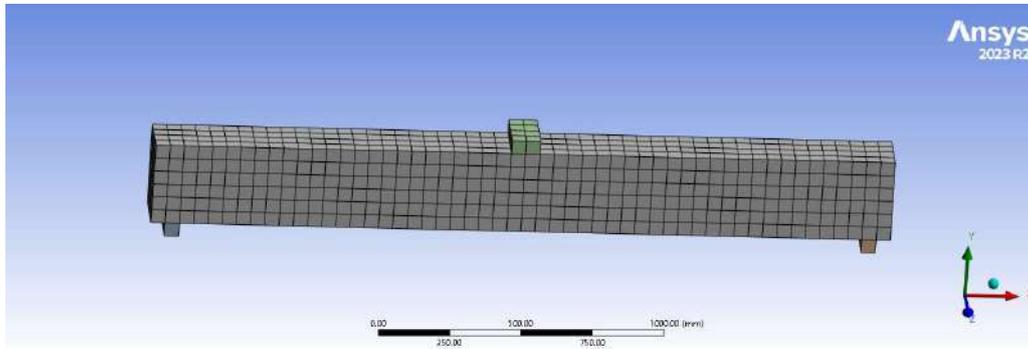
## 2.1. تفاصيل كمرات UHP-ECC التي تمت دراستها في الدراسة البارامترية

تم عرض المنهجية المستخدمة في هذه الدراسة لوصف النمذجة العددية في القسم السابق، باستثناء استخدام التحميل عن طريق التحكم في الحمل .

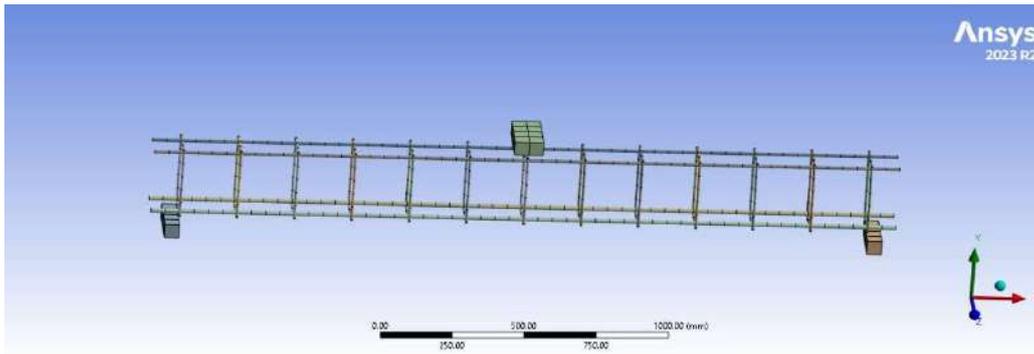
كان لكمرات UHP-ECC التي تم تحليلها في الدراسة البارامترية أبعاد مقطع عرضي تبلغ  $300 \times 175$  مم وعمق فعال يبلغ 262.5 مم. تم استخدام بسيطة الأرتكاز من UHP-ECC في الدراسة البارامترية، كما هو موضح في الشكل 9. وتم تطبيق الأحمال على الكمرات في منتصف بحرهما من خلال لوحة تحميل فولاذية بأبعاد  $100 \times 100$  مم، كما هو موضح في الشكل 9. تم استخدام حديد تسليح ذو مقاومة خضوع 500 ميجا باسكال للتسليح السفلي والعلوي في جميع الكمرات في الدراسة البارامترية. تم استخدام كانات فرعين بقطر 8 وتباعده 200 ملم وقوة خضوع 240 ميجا باسكال لجميع الكمرات كما هو مبين في الشكل 10. جميع الكمرات في هذه المجموعة لها الخصائص التالية:

- مقاومة ضغط ( $f'_c$ ) = 120 ميجا باسكال
- محتوى حجم ألياف البوليمر (PE) ؛  $V_f = 2.0\%$  تحتوي الألياف على  $L_f = 18$  مم و  $d_f = 24$  ميكرومتر مما يعطي  $L_f / d_f = 750$
- نسبة البحر إلى العمق ؛  $(L/d) = 9.52$

تم تحليل الكمرات باستخدام قيم  $\rho$  مختلفة: 0.49، 0.88، 1.11، 1.37، 1.65، 2.14، 2.68، و 3.50%. تجدر الإشارة إلى أنه وفقاً للكود المصري ECP 203-2020 فإن  $\rho_{min}$  لهذه العتبات = 0.49% بينما  $\rho_{max} = 3.83\%$ . يعرض الجدول 3 تفاصيل جميع الكمرات UHP-ECC المستخدمة في الدراسة البارامترية.



شكل رقم (9): نمذجة الخرسانة للكمرات UHP-ECC.



شكل رقم (10): نمذجة حديد التسليح للكمرات UHP-ECC.

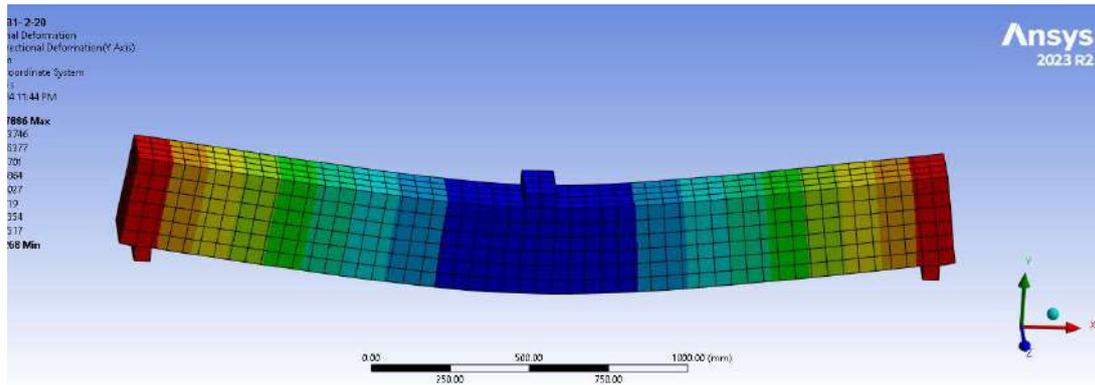
جدول (3): تفاصيل برنامج التحليل البارامتري

الكمرة	الأبعاد (مم)			خصائص الخرسانة				التسليح	$\rho$ (%)	$V_f$ (%)	$L/d$
	b	h	d	$f'_c$ (MPa)	$f_{tc}$ (MPa)	$f_{tp}$ (MPa)	$\epsilon_{tp}$ (%)				
B1	175	300	262.5	120	9.19	16.46	8.00	2 $\Phi$ 12	0.49	2.00	9.52
B2								2 $\Phi$ 16	0.88		
B3								2 $\Phi$ 18	1.11		
B4								2 $\Phi$ 20	1.37		
B5								2 $\Phi$ 22	1.65		
B6								2 $\Phi$ 25	2.14		
B7								2 $\Phi$ 28	2.68		
B8								2 $\Phi$ 32	3.50		

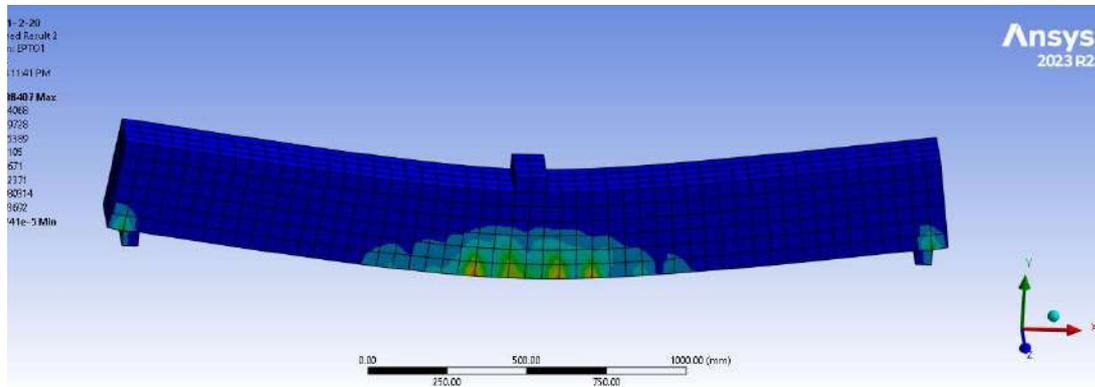
$b$ : عرض الكمرة (مم)،  $h$ : العمق الكلي للكمرة (مم)،  $d$ : العمق الفعال للكمرة (مم)،  $f'_c$ : مقاومة الضغط للخرسانة (ميغاباسكال)،  $f_{tc}$ : أقصى إجهاد شد خطي للخرسانة (ميغاباسكال)،  $f_{tp}$ : أقصى مقاومة شد للخرسانة (ميغاباسكال)،  $\epsilon_{tp}$ : أقصى انفعال شد للخرسانة (%):  $\rho$ : نسبة التسليح للحديد الطولي السفلي للكمرة (%)،  $V_f$ : محتوى حجم ألياف الفايبر (%):  $L/d$ : نسبة بحر الكمرة الى عمقها الفعال (مم/مم).

## 2.2. نتائج EFM والمناقشات

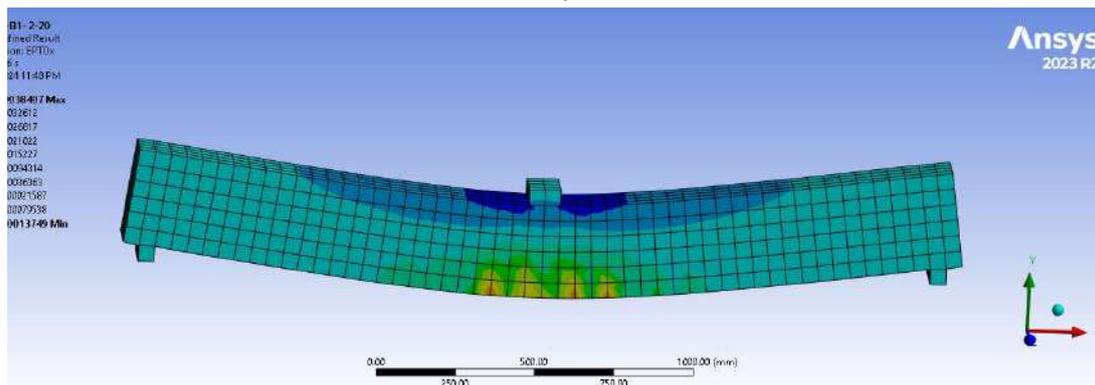
يعطي الجدول 4 التفاصيل والأحمال النهائية لكمرات UHP-ECC التي تم تحليلها. تم الحصول على قيم خصائص الخرسانة الواردة في الجداول من نتائج الاختبار التي أجراها Ding et al. (2018). انهارت جميع كمرات UHP-ECC التي تم تحليلها في الانحناء.



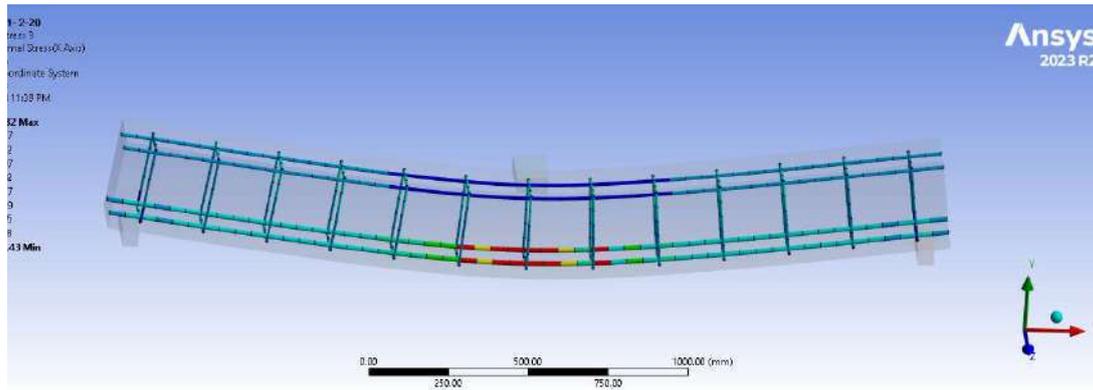
شكل رقم (11): الترخيم للكمره B4 (الوحدات: مم).



شكل رقم (12): انفعالات الشد الرئيسية للكمره B4 (الوحدات: مم/مم).



شكل رقم (13): الأنفعال في اتجاه محور X للكمره B4 (الوحدات: مم/مم).

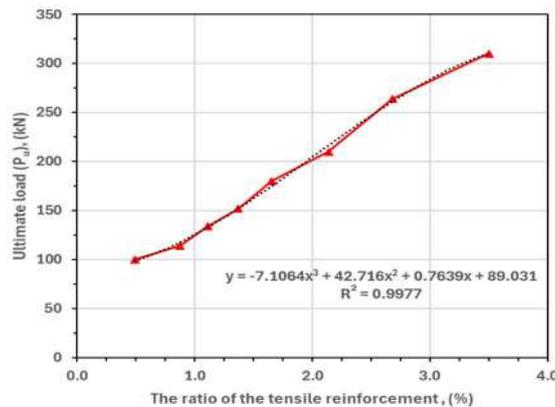


شكل رقم (14): الإجهادات في حديد التسليح للكمرة B4 (الوحدات: نيوتن/م<sup>2</sup>)

يوضح الشكل 11 التشكل في اتجاه المحور Y (الترخيم) للكمرة B4. يوضح الشكل 12 انفعال الشد الرئيسي للكمرة B4. بالإضافة إلى ذلك، يوضح الشكل 13 الانفعال الطبيعي في الأتجاه X للكمرة B4، والذي يوضح نفس السلوك المذكور في الأقسام السابقة. يوضح الشكل 14 الأجهادات في حديد التسليح للكمرة B4، مما يشير إلى حدوث خضوع في حديد التسليح قبل الانهيار.

تشير النتائج الواردة في الجدول 4 إلى أن زيادة نسبة تسليح الشد يؤدي إلى زيادة الأحمال النهائية. على سبيل المثال، تم الحصول على زيادة بنسبة 64% في  $P_u$  الحمل النهائي لكمرات UHP-ECC عندما زادت  $\rho$  من 0.69% إلى 2.22%.

يوضح الشكل 15 تأثير نسبة حديد التسليح على الحمل النهائي  $P_u$  للكمرات UHP-ECC. يشير الشكل إلى علاقة من الدرجة الثالثة تقريباً بين الحمل النهائي لكمرات UHP-ECC ونسبة حديد التسليح الطولي مع  $R^2 = 0.998$ .



شكل رقم (15): تأثير نسبة حديد التسليح على الحمل الأقصى ( $P_u$ ) للكمرات UHP-ECC

## 3. مقارنة بين FEM والمعادلة المقترحة بناءً على JSCE NO.82-2008

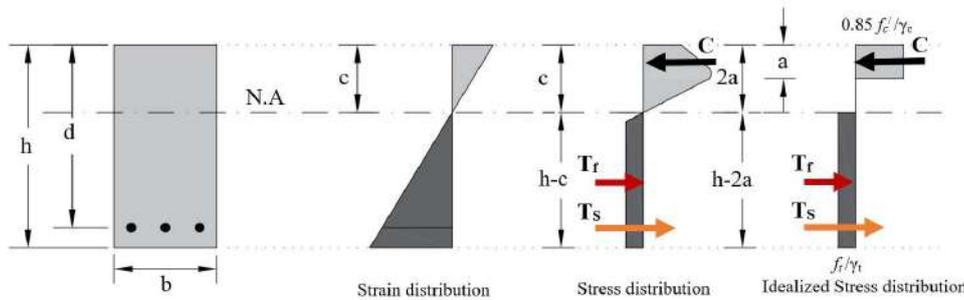
يقارن هذا القسم حمل الانحناء الأقصى المحسوب وفقاً لمعادلة تعتمد على معادلة الجمعية اليابانية للمهندسين المدنيين، سلسلة هندسة الخرسانة [14] (JSCE No.82-2008) مع الأحمال النهائية FEM لكمرات-UHP ECC في هذه الورقة.

## 3.1. المعادلة المقترحة لحساب العزم الأقصى

بشكل عام، يتم حساب سعة الانحناء لـ NSC أو HSC وفقاً لبعض قوانين الأكواد، على سبيل المثال، ACI [15] 318-19، [16] Eurocode 2-2004، [17] ECP 203-2020 في الوقت نفسه، في حساب قدرة الانحناء لأنظمة الخرسانة المسلحة بالألياف، يتم وضع بعض المواصفات أو التقارير مثل fib Model Code [18] 2010 و [19] ACI 544.4R-18 و [14] JSCE No 82-2008 لاستخدامها لهذه الأنواع من الخرسانات.

يقترح هذا القسم نموذجاً بسيطاً يعتمد على JSCE No 82-2008 لحساب سعة الانحناء لكمرات UHP-ECC. يستخدم هذا النموذج المقترح فقط لتلبية حدود الدراسة البارامترية المستخدمة في هذا البحث. يوضح الشكل 16 تمثيلات تخطيطية للإجهاد وتوزيعات الإجهاد الاعتبارية لـ UHP-ECC بناءً على اقتراح JSCE رقم 82-2008 [14].

تم استخدام المعادلات المعدلة لحساب قدرة الانحناء لكمرات UHP-ECC (معادلة 1 إلى 6). تجدر الإشارة إلى أن JSCE No 82-2008 استخدمت تقريباً نفس الخطوات لحساب قدرة الانحناء للكمرات مع بعض الاختلافات في المعادلات، مثل عوامل سلامة المواد، والحد الأقصى لإجهاد الضغط أحادي المحور، وإجهاد الشد الفعال في HPRCC (الإجهاد تم تحقيقه عند انهيار القطاع)، انفعالات الشد الفعالة في HPRCC (الانفعالات التي تم الوصول إليها عند انهيار القطاع). تم أخذ عوامل الأمان والتخفيض للمواد والمقاومة كما هو موضح في (معادلة 1 إلى 6) لجميع القيم المحسوبة.



شكل رقم (16): تمثيل تخطيطي للإجهاد وتوزيعات الإجهاد الاعتبارية لـ UHP-ECC بناءً على المقترح

المقدم من JSCE رقم 82-2008

$$C = T_f + T_s \quad \text{طبقا للشكل رقم (16):}$$

$$C = 0.85 \times \frac{f_c'}{\gamma_c} \times b \times a \quad \text{Eq-1}$$

$$T_f = \frac{f_t}{\gamma_t} \times b \times (h - 2a) \quad \text{Eq-2}$$

$$T_s = A_s \times \frac{f_y}{\gamma_s} \quad \text{Eq-3}$$

$$a = \frac{(A_s \times \frac{f_y}{\gamma_s} + \frac{f_t}{\gamma_t} \times h \times b)}{b \times (0.85 \times \frac{f_c'}{\gamma_c} + 2 \times \frac{f_t}{\gamma_t})} \quad \text{Eq-4}$$

$$M_u = 0.5 \times T_f \times (h - a) + T_f \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad \text{Eq-5}$$

حيث:  $f_c'$  = قوة ضغط الأسطوانة لمدة 28 يومًا لـ UHP-ECC (MPa) ؛  $f_t$  = قوة الشد لـ UHP-ECC (MPa) ؛  $f_y$  = إجهاد الخضوع لحديد التسليح (MPa) ؛  $\rho$  هي نسبة التسليح.  $d$  = العمق الفعال للقطاع (مم) ؛  $h$  = سمك الكمرات (مم) ؛  $b$  = عرض الكمرات (مم) ؛  $a$  = عمق منطقة تأثير إجهاد الضغط (مم) ؛  $\gamma_c$  = عامل تخفيض المادة للخرسانة تحت الضغط (1.5) ؛  $\gamma_t$  = عامل تخفيض المادة للخرسانة تحت التوتر (4.0) ؛  $\gamma_s$  = عامل تخفيض مادة حديد التسليح (1.15) ؛ و  $M_u$  = العزم الأقصى (N.mm).

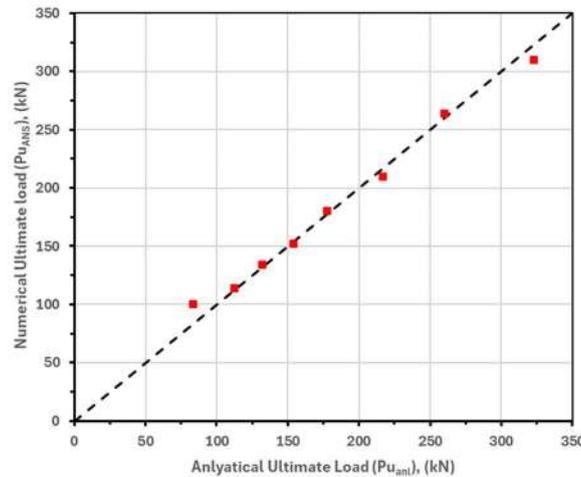
### 3.2. المقارنة بين المعادلة المقترحة ونتائج FEM

يعطي الجدول 4 الحمل التحليلي النهائي ( $P_{u, anal}$ ) ، والحمل النهائي FEM ( $P_{u, ANS}$ ) ، والنسبة بين الحمل التحليلي النهائي إلى الحمل النهائي FEM ، ( $P_{u, anal} / P_{u, ANS}$ ).

يوضح الشكل 17 مقارنة بين النتائج التي تم الحصول عليها من المعادلة المقترحة ونتائج FEM. وفقا للنتائج التحليلية و FEM، وفقا للشكل 17 والجدول 4، أظهرت النتائج أن متوسط قيمة ( $P_{u, anal} / P_{u, ANS}$ ) كان 0.98، ومعامل الاختلاف (COV) ومعامل التحديد ( $R^2$ ) يساوي 6.5% و 0.994 على التوالي. استناداً إلى نتائج المعادلة المقترحة ونتائج FEM، يمكن للمعادلة المقترحة التنبؤ بالنتيجة النهائية بنتائج مقبولة.

جدول (4): نتائج الحمل النهائي التحليلي والحمل النهائي FEM

Group	Beam	ANSYS Results		Analytical Results		(2)/(1)
		Pu, ANS (kN) (1)	Mode of failure	Pu, anal (kN) (2)	Mode of failure	
Effect of the tensile reinforcement ratio ( $\rho$ )	B1	100	Flexure	83.38	Flexure	0.83
	B2	114		112.25		0.98
	B3	134		132.01		0.99
	B4	152		153.84		1.01
	B5	180		177.66		0.99
	B6	210		216.90		1.03
	B7	264		260.05		0.99
	B8	310		322.96		1.04
Mean						0.98
Standard deviation (STD.)						0.06
Coefficient of variation (COV); %						6.56
Coefficient of determination ( $R^2$ )						0.994



شكل رقم (17): مقارنة بين نتائج المعادلة المقترحة ونتائج FEM.

### الخاتمة

يتناول هذا البحث دراسة عددية لسلوك الانثناء لـ UHP-ECC باستخدام برنامج العناصر المحدودة ANSYS. تم التحقق من سلوك الانحناء لكمرات UHP-ECC في دراسة تجريبية سابقة باستخدام النموذج التأسيسي Menetrey-Willam الذي تمت إضافته مؤخرًا إلى ANSYS. يقدم هذا البحث دراسة عددية لثمانية كمرات

UHP-ECC بنسب تسليح شد مختلفة لدراسة تأثيرها على سلوك الانحناء. تم دراسة نسب تقوية الشد 0.49، 0.88، 1.11، 1.37، 1.65، 2.14، 2.68، 3.50%. بالإضافة إلى ذلك، تم اقتراح معادلات جديدة مستوحاة من الجمعية اليابانية للمهندسين المدنيين، سلسلة هندسة الخرسانة 82 (JSCE No.82-2008).

### التوصيات

يمكن استنتاج ما يلي من نتائج هذا البحث العددي:

1- أظهر استخدام النموذج التأسيسي Menetrey-Willam في ANSYS نتيجة جيدة عند استخدامه لمحاكاة حزم UHP-ECC التجريبية التي أجراها Ding et al. (2018). كان الحمل النهائي الذي تم الحصول عليه من FEM حوالي 1.03 من الحمل النهائي الذي تم الحصول عليه من التجربة. كما أن الترخيم الذي تم الحصول عليه من نتائج FEM يظهر توافقاً جيداً مع التجربة. بالإضافة إلى ذلك، تشير النتائج إلى مدى ملاءمة شكل الشروخ بين النتائج التجريبية ونتائج FEM.

2- بالنسبة لتأثير نسبة حديد التسليح؛ ( $\rho$ )، فإن زيادة نسبة حديد الشد تزيد من قدرة الانحناء للكمرات-UHP ECC، مع وجود علاقة من الدرجة الثالثة تقريباً. على سبيل المثال، تم الحصول على زيادة بنسبة 64% في  $P_u$  لكمرات UHP-ECC عندما زادت  $\rho$  من 0.69% إلى 2.22%.

3- حسب النموذج المقترح المبني على JSCE No.82-2008 أظهرت النتائج أن متوسط قيمة ( $P_{u,anal} / P_{u,ANS}$ ) بلغ 0.98 ومعامل التباين (COV) ومعامل التحديد ( $R^2$ ) يساوي 6.5% و 0.994 على التوالي. استناداً إلى نتائج المعادلة المقترحة ونتائج FEM، يمكن للمعادلة المقترحة التنبؤ بالنتيجة النهائية بنتائج مقبولة.

### المراجع

- [1] Arce GA, Hassan M, Game DE. Development of Novel Ultra-High Performance Engineered Cementitious Composites (UHP-ECC) for Durable and Resilient Transportation Infrastructure. 2021.
- [2] YU K. Ultra-High Performance Engineered Cementitious Composites (UHP-ECC) – Mechanical Behavior Of Materialand Structural Members. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University; 2019.
- [3] Shoukry ME, Tarabia AM, Yassin AM. Punching shear strength of ultra-high-performance fibre concrete slab-column connections. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Structures and Buildings. 2022;175:13.

- [4] Yu K-Q, Lu Z-D, Dai J-G, Shah SP. Direct Tensile Properties and Stress-Strain Model of UHP-ECC. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2020;32.
- [5] Yu K-Q, Yu J-T, Dai J-G, Lu Z-D, Shah SP. Development of ultra-high performance engineered cementitious composites using polyethylene (PE) fibers. *Construction and Building Materials*. 2018;158:217-27.
- [6] Yu K-Q, Dai J-G, Lu Z-D, Poon C-S. Rate-dependent tensile properties of ultra-high performance engineered cementitious composites (UHP-ECC). *Cement and Concrete Composites*. 2018;93:218-34.
- [7] Sui L, Zhong Q, Yu K, Xing F, Li P, Zhou Y. Flexural Fatigue Properties of Ultra-High Performance Engineered Cementitious Composites (UHP-ECC) Reinforced by Polymer Fibers. *Polymers (Basel)*. 2018;10.
- [8] Ding Y, Yu K-Q, Yu J-t, Xu S-l. Structural behaviors of ultra-high performance engineered cementitious composites (UHP-ECC) beams subjected to bending-experimental study. *Construction and Building Materials*. 2018;177:102-15.
- [9] Zeng J-J, Liang Q-J, Cai W-J, Liao J, Zhou J-K, Zhu J-Y, Zhang L. Strengthening RC square columns with UHP-ECC section curvilinearization and FRP confinement: Concept and axial compression tests. *Engineering Structures*. 2023;280.
- [10] Zhang P, Gong C, Wu Q, Zeng C. Experimental Study on the Bearing Capacity of Reinforced Concrete Pipes with Corrosion-Thinning Defects Repaired by UHP-ECC Mortar Spraying. *Applied Sciences*. 2023;13.
- [11] Zeng J-J, Xiang H-Y, Cai W-J, Zhou J-K, Zhuge Y, Zhu J-Y. Behavior of large-scale FRP-confined square RC columns with UHP-ECC section curvilinearization under eccentric compression. *Engineering Structures*. 2024;301.
- [12] Zhu J-X, Weng K-F, Huang B-T, Xu L-Y, Dai J-G. Ultra-High-Strength Engineered Cementitious Composites (UHS-ECC) panel reinforced with FRP bar/grid: Development and flexural performance. *Engineering Structures*. 2024;302.
- [13] ANSYS I. ANSYS 2023/R2 Take A Leap Of Certainty (Material Reference). USA: ANSYS, Inc.; 2023.
- [14] Japan Society of Civil Engineers. Concrete Engineering Series 82. Recommendations for design and construction of High Performance Fiber Reinforced Cement Composites with

multiple fine cracks (HPFRCC). Japan: Japan Society of Civil Engineers (JSCE), Concrete Committee; 2008.

[15] ACI Committee 318. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19). Farmington Hills, MI 48331, USA: American Concrete Institute; 2019.

[16] European Committee for Standardization. EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of Concrete Structures : Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization; 2004.

[17] The Housing and Building National Research Center (HBRC). ECP 203-2020. Egyptian Code for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures, ECP 203-2020. Egypt: Egyptian Code committee for Design and Construction of Reinforced Concrete Structures; 2020.

[18] Fédération Internationale du Béton (fib). fib model code for concrete structures 2010. Lausanne, Switzerland: Fédération Internationale du Béton (fib); 2013.

[19] ACI Committee 544. Guide to Design with Fiber-Reinforced Concrete. ACI 544R-18. Farmington Hills, MI 48331, USA: American Concrete Institute 2018. p. 39.

## المحور الثالث

# أعادة تأهيل المباني والمنشآت

## استخدام البولي إيثيلين كإضافة للإسفلت لتحسين ثبات مارشال

د. عبد السلام محمد الجرم<sup>1</sup>، أ.م. أبوبكر طاهر البرغثي<sup>2</sup>، م. منى رفعت عبدالملك<sup>3</sup>

1 أستاذ مشارك، كلية الهندسة، جامعة بنغازي، بنغازي، ليبيا.

2 وزارة الأشغال العامة، الحكومة الليبية، بنغازي، ليبيا.

3 وزارة الأشغال العامة، الحكومة الليبية، بنغازي، ليبيا

\*للمراسلة Abdelsalam.rahil@uob.edu.ly

### الملخص

يعد التلوث بالبلاستيك قضية بيئية ومجتمعية معا، حيث تؤثر النفايات البلاستيكية على المجتمعات وهي بذلك تؤثر على نمط حياتهم. تهدف هذه الدراسة لإمكانية إعادة استخدام النفايات البلاستيكية في الخلطة الإسفلتية لزيادة فاعلية أداء الخلطة الإسفلتية وتقويتها وزيادة عمرها الخدمي. ويعود سبب اختيار مادة البلاستيك إلى أن درجة حرارة ذوبان البلاستيك تتناسب مع درجة الحرارة المستخدمة لرصف الطرق وعند ذوبانها فهي تعطي خاصية الترابط مع مادة البيتومين وهذه المادة من مكونات الأسفلت، إلى جانب ذلك فإن معدل النفايات البلاستيكية في ليبيا في ازدياد مستمر، والطريقة المتبعة للتخلص منها تزيد من تلوث البيئة، علما ان هذه النفايات لا تتحلل بعد ردمها لفترات قد تصل إلى آلاف السنين وبالتالي فهي تسبب ضررا شديدا للبيئة. حيث استخدمت حبيبات البولي إيثيلين عالي الكثافة كمادة مضافة للبيتومين نوع (70/60).

بثلاثة نسب (3 %، 4 %، 5 %) من وزن الركام. تم دراسة تأثير هذه الإضافات على الثبات (الاستقرار) والانسياب (التدفق) باستخدام طريقة مارشال للخلط على الساخن. وبأخذ 4 نماذج لكل نسبة بينت الدراسة إن كل النسب حققت قيم جيدة من حيث الثبات والمحافظة على قيم التدفق عند الحدود الموصي بها بالمواصفات وذلك بمقارنتها مع عينات مرجعية غير معالجة حيث زادت قيمة ثبات مارشال بنسبة 49.86 % عن العينة المرجعية عند إضافة 4% من البولي إيثيلين. وزادت قيمة ثبات مارشال بنسبة 350.2 % عن القيمة الأدنى الموصي بها في المواصفات 600 كجم.

الكلمات الدالة: التلوث البيئي، البولي اثلين، الخلطة الاسفلتية، ثبات مارشال، الانسياب

### المقدمة

وحيث أنه مع زيادة الكثافة المرورية أصبح من المهم تحسين مقاومة رصف الطرق ومحاولة التقليل من استخدام نسبة الإسفلت في الخلطة الإسفلتية ومن هذا المنطلق قمنا بدراسة إضافة مادة البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) وهو المادة الأساسية في صناعة الأكياس البلاستيكية والعلب البلاستيكية. وتتم هذه العملية من خلال وضع نسبة من البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) وإضافة البيتومين ثم إضافة الركام المترج إليها باستخدام طريقة مارشال للخلطة الإسفلتية. [3]

وكانت النسب المضافة من البولي إيثيلين العالي الكثافة هي (3%، 4%، 5%) من وزن الركام المستخدم (1200g) ومقارنة النتائج مع عينة مرجعية دون إضافة البولي إيثيلين عالي الكثافة إليها. تم الحصول على قيم أعلى لمقاومة الأحمال مع الحفاظ على معدل جيد لمرونة العينة والتخلص من نسبة جيدة من البلاستيك والمساعدة في تخليص البيئة من كمية جيدة من المخلفات البلاستيكية.

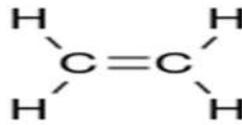
## 1. المواد المستخدمة في الدراسة المعملية

### 1.1 البولي إيثيلين عالي الكثافة

البولي إيثيلين هو منتج استهلاكي يصنف تحت المنتجات البلاستيكية ذات تلدن حراري ينتج منه سنويا أكثر من 60 مليون طن سنويا في جميع انحاء العالم.

#### 1.1.1 تعريفه:

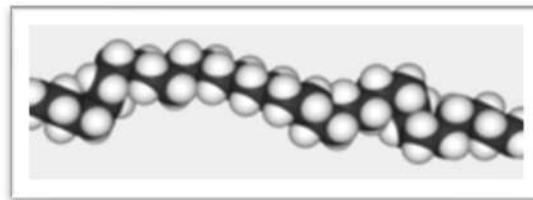
البولي إيثيلين هو بوليمر يتألف من سلاسل طويلة من مونمرالإيثيلين (تسمية IUPAC إيثين). يرمز له بالرمز PE بنفس النمط الذي ترمز له في الصناعة برمز PE بنفس النمط الذي ترمز له في بوليمرات أخرى مثل PP البولي بروبيلين و PS البولي ستيرين جزئ الإيثيلين  $C_2H_4$  is  $CH_2=CH_2$  إذا عبارة عن زمري ميثيلين مرتبطين برابطة مضاعفة. [2]



الشكل (1) سلسلة البولي إيثيلين

حيث أن: H: ذرة هيدروجين - C: ذرة كربون

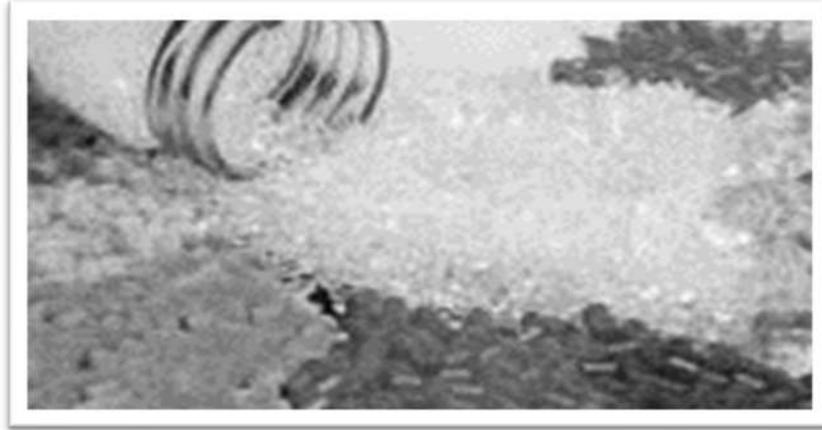
ينشأ البولي إيثيلين من بلمرة الإيثيلين والتي يمكن أن تتم من خلال البلمرة الجذرية، بلمرة الإضافة الأيونية. [2]



الشكل (2) سلسلة إيثيلين ثلاثية الأبعاد

**1.1.2 تصنيف البولي إيثيلين**

يصنف البولي إيثيلين إلى فئات عدة اعتماداً على الكثافة وتفرع السلسلة البوليميرية. تعتمد الخواص الميكانيكية لهذا البوليمر على متغيرات عدة مثل نوع التفرع، البنية البلورية والوزن الجزيئي.



الشكل (3) أشكال البولي إيثيلين

- البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) يعرف بكونه ذو كثافة أكبر من 0.941 غ/سم<sup>3</sup>. يمتاز بأن لديه درجة أقل من التفرع وينتج باستخدام وسائط كروم/سليكا، وسائط زيجلر-ناتا، أو وسائط الميتالوسين.

يتم تأمين حدوث عدم التفرع من خلال الاختيار المناسب للوسيط والتحكم بشروط التفاعل. يستخدم هذا البوليمير في التغليف وصناعة المنتجات مثل أواني الحليب، قوارير المنظفات، علب المنتجات الغذائية، سلال القمامة، وصناعة خراطيم المياه. [2]

**1.1.3 لمحة عن خواص البولي إيثيلين**

- كثافة منخفضة (0.87 - 0.965 غ/سم<sup>3</sup>).

- مقاومة التغيرات الحرارية (- 85 ° إلى 90 °) وهي تعتمد على درجة التبلور، كلما كانت أقل تكون الثابتية الحرارية أقل.

- تعتمد الخواص الضوئية على الكثافة وعلى درجة التبلور.

- ذو ثابت عزل كهربائي عالي يصل إلى حوالي 1018 أوم/سم.

- قابليته لامتصاص الماء منخفضة جداً.

- ذو قابلية جيدة للاحتراق، يحرر H<sub>2</sub>O وCO<sub>2</sub>
- له ثباتيه تجاه معظم المحلات العضوية (T<60°) بالإضافة إلى الحموض والقلويات والأغوال والزيوت.
- بشكل عام غير قابل للانحلال عند درجة حرارة الغرفة، ولكن عند درجات الحرارة المرتفعة ينحل ببعض المحلات مثل 1،2،4-ثلاثي كلور البنزن، الكزيلين، الهكسان.[2]

## 1.2 البيتومين Bitumen

هو مادة يتم إنتاجها من خلال تصفية النفط الخام ويعرف بخصائصه المقاومة للماء واللاصقة، ويؤدي إنتاج البيتومين أثناء عملية التصفية إلى إزالة مكونات النفط الخام الأخف وزناً، مثل البنزين والديزل، ويترك المكونات الأثقل وراءه، وغالباً ما يتم تكريره عدة مرات من أجل تحسين درجته.[1]

ويمكن تشكيل البيتومين بشكل دائم تحت الأحمال الثقيلة، حيث يتأكسد البيتومين ويترك الإسفلت هشاً ويؤدي إلى تشققه.[1]

## 2. الحسابات المعملية

### 2.1 اختبارات الإسفلت

تم الحصول على بيتومين ذو اختراق 70/60 من مصنع إسفلت بنغازي وتم إجراء الاختبارات الآتية عليه:

#### 1- تحديد درجة الاشتعال والاحتراق (Flash and fire point test)

القيمة المتحصل عليها للعينة:

الوميض: 280م \_ الاحتراق: 300م

#### 2- الليونة (Softening Point Test)

القيمة المتحصل عليها للعينة: 48.25م

## 3- المط أو المرونة (Ductility Test)

القيمة المتحصل عليها للعينة: + 100 cm

- تم إحضار البولي إيثيلين من مصنع (للدائن) من مدينة بنغازي ومصنع (للبلستيك) من مدينة البيضاء.

جدول (1) يوضح القيم التصحيحية للاستقرار حسب حجم العينة. [4]

Volume of specimen, (cm)	Correlation ratio
471-482	1.14
483-495	1.09
496-508	1.04
509-522	1
523-535	0.96
536-546	0.93
547-559	0.89

2.2 القياسات وقراءات جهاز مارشال:

2.3

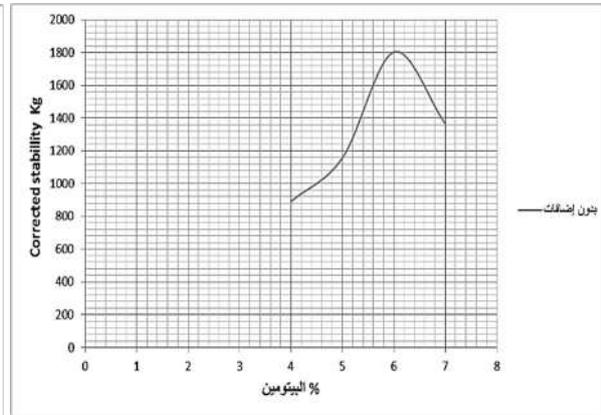
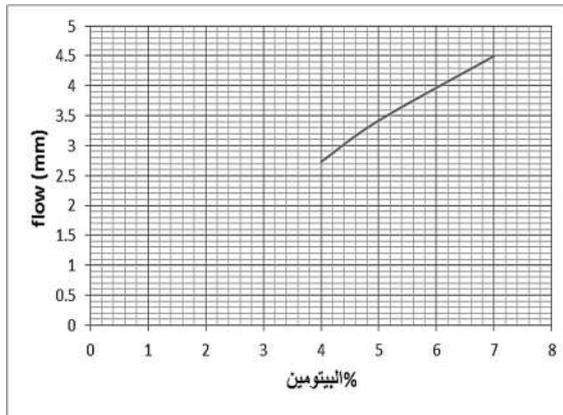
## 2.2.1 العينة الأولى: بدون إضافة البولي إيثيلين

جدول (2) يوضح أبعاد العينات المرجعية

نسبة البيتومين %	H (cm)	D (cm)	V (cm <sup>3</sup> )
4	7.2	10	565.2
5	7.4	10.1	592.6
6	7	10.1	560.55
7	7.4	10.1	592.6

جدول (3) يوضح قراءات لاستقرار والتدفق للعينة المرجعية

نسبة البيتومين (%)	Measured Stability (Kg)	Corrected Stability (Kg)= (Measured Stability * Correlation ratio)	Flow(mm)
4	1036.7	891.562	2.73
5	1429.2	1157.65	3.42
6	2096	1802.56	2.9
7	1685	1364.85	4.5



الشكل (5) منحني يوضح العلاقة بين البيتومين والتدفق للعينة المرجعية

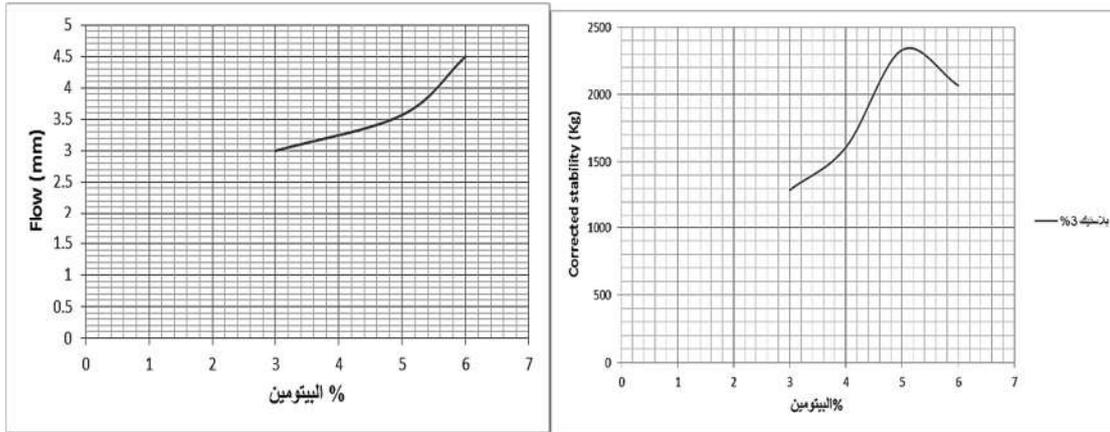
الشكل (4) منحني يبين العلاقة بين البيتومين واستقرار مارشال للعينة المرجعية

2.2.2 العينة الثانية: إضافة نسبة 3% من 1200 جم (الوزن الكلي للركام) بولي إيثيلين على الكثافة = 36

جم

جدول (4) يوضح أبعاد العينات عند إضافة 3% بولي إيثيلين

نسبة البيتومين %	ارتفاع العينة (cm)	قطر العينة (cm)	V (cm <sup>3</sup> )
3	7.4	10.1	592.6
4	7.5	10	588.75
5	7.5	10	588.75
6	7.85	10	616.23



الشكل (7) منحنى يوضح العلاقة بين نسبة البيتومين والتدفق عند إضافة 3% بيتومين

الشكل (6) منحنى يوضح العلاقة بين نسبة البيتومين واستقرار مارشال عند إضافة 3% بيتومين

جدول (5) يوضح قراءات الاستقرار والتدفق عند إضافة 3% بولي إيثيلين

نسبة البيتومين %	Measured Stability (kg)	Corrected Stability (Kg)= (Measured Stability * Correlation ratio)	Flow(mm)
3	1592.1	1289.601	3
4	1984.5	1607.445	3.7
5	2876	2329.56	3.57
6	2717.7	2065.45	4.5

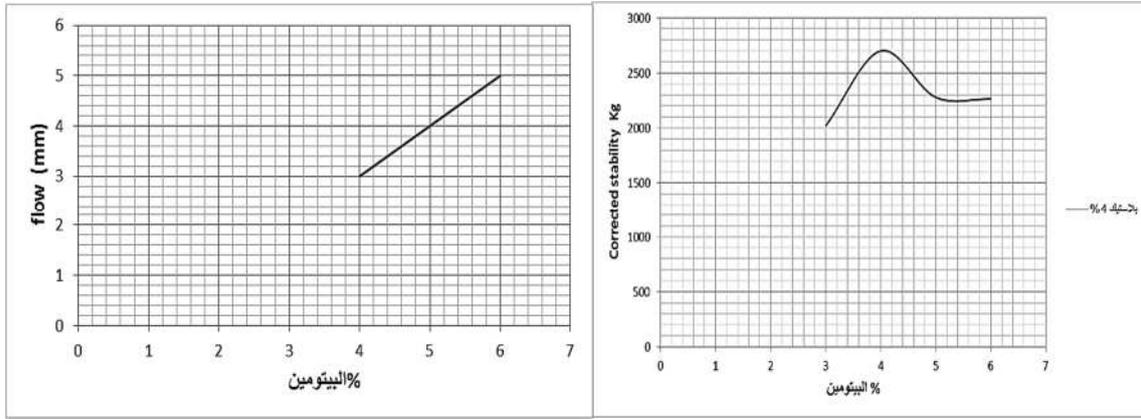
2.2.3 العينة الثالثة: إضافة نسبة 4% من 1200 جم (الوزن الكلي للركام) بولي إيثيلين عالي الكثافة = 48 جم

جدول (6) يوضح أبعاد العينات عند إضافة 4% بولي إيثيلين

نسبة البيتومين %	ارتفاع العينة (cm)	قطر العينة (cm)	V (cm <sup>3</sup> )
3	7.4	9.8	557.9
4	7.7	9.8	580.5
5	7.95	10	624.08
6	7.85	10	616.23

جدول (7) يوضح قراءات الاستقرار والتدفق عند إضافة 4% بولي إيثيلين

نسبة البيتومين %	Measured Stability (Kg)	Corrected Stability (Kg)= (Measured Stability * Correlation ratio)	Flow (mm)
3	2269.6	2019.944	4.6
4	3254.5	2701.24	3
5	2999.1	2279.316	4.45
6	2980.5	2265.18	5



الشكل (9) منحنى يبين العلاقة بين نسبة البيتومين والتدفق عند إضافة 4%

الشكل (8) منحنى يوضح العلاقة بين نسبة البيتومين واستقرار مارشال عند إضافة 4%

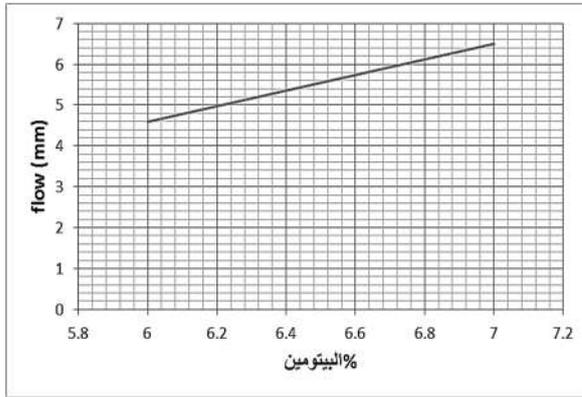
#### 2.2.4 العينة الرابعة: إضافة نسبة 5% من 1200 جم (الوزن الكلي للركام) بولي إيثيلين عالي الكثافة =60جم

جدول (8) يوضح أبعاد العينات عند إضافة 5% بولي إيثيلين

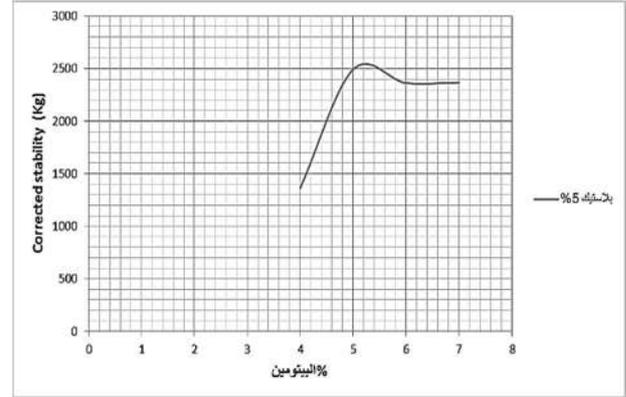
نسبة البيتومين %	ارتفاع العينة (cm)	قطر العينة (cm)	V (cm <sup>3</sup> )
4	7.75	10	588.75
5	7.89	10	620.15
6	7.9	10	620.46
7	8	10	628.32

جدول (9) يوضح قراءات الاستقرار والتدفق عند إضافة 5% بولي إيثيلين

نسبة البيتومين %	Measured Stability (kg)	Corrected Stability(kg)= (Measured Stability * Correlation ratio)	Flow (mm)
4	1684.5	1364.445	6.45
5	3280.5	2493.18	5.65
6	3110.1	2363.676	4.59
7	3117.5	2369.3	6.5



الشكل (11) منحنى يبين العلاقة بين نسبة البيتومين و Flow عند إضافة 5%



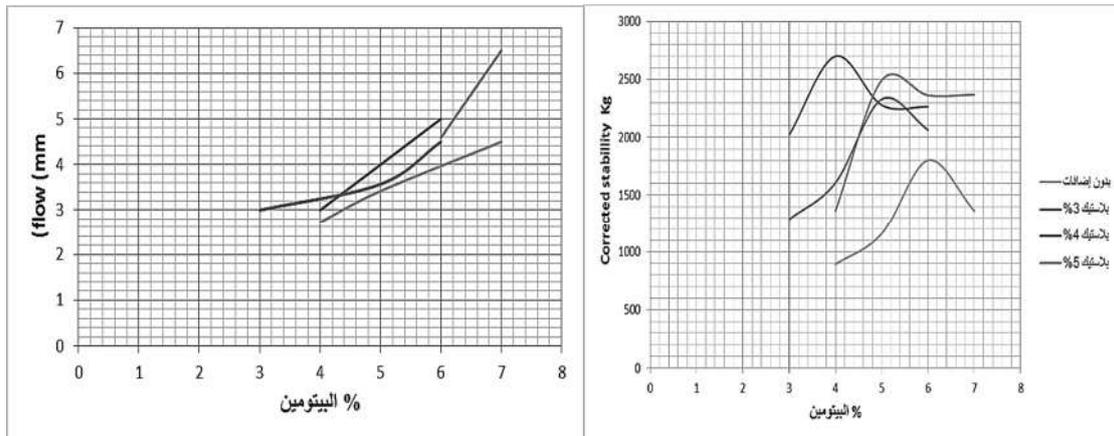
الشكل (10) منحنى يبين العلاقة بين نسبة البيتومين واستقرار مارشال عند إضافة 5%

## 3. الخلاصة

## 3.1 القراءات المتحصل عليها من الدراسة

جدول (10) قيم جميع العينات أثناء الدراسة

Corrected Stability (Kg)	Flow (mm)	نسبة البيتومين %	العينة
891.562	2.73	4	بدون إضافة
1157.65	3.42	5	
1802.56	2.9	6	
1364.85	4.5	7	
1289.601	3	3	إضافة 3 %
1607.445	3.7	4	
2329.56	3.57	5	
2065.45	4.5	6	
2019.944	4.6	3	إضافة 4 %
2701.24	3	4	
2279.316	4.45	5	
2265.18	5	6	
1364.445	6.45	4	إضافة 5%
2493.18	5.65	5	
2363.676	4.59	6	
2369.3	6.5	7	



الشكل (13) منحنى يوضح مراحل ارتفاع وانخفاض قيم التدفق بزيادة نسب البولي إيثيلين للعينات

الشكل (12) منحنى يوضح مراحل تغير قيم استقرار مارشال بزيادة نسبة البولي إيثيلين للعينات

أظهرت النتائج العملية تحسن في خصائص الخلطة الإسفلتية نتيجة إضافة حبيبات البولي إيثيلين عالي الكثافة.

#### 4. من اهم النتائج:

- 1- إضافة حبيبات البولي إيثيلين عالي الكثافة من قيمة ثبات مارشال وتقلل من قيمة الانسياب مما يزيد من مقاومة وثبات الخلطة الإسفلتية تحت تأثير الحمولات الناتجة عن الحركة المرورية.
- 2- تزداد صلابة الخلطة الإسفلتية عند إضافة حبيبات البولي إيثيلين عالي الكثافة وتزداد مقاومتها للتشوهات اللدنة مما يجعلها مناسبة للاستخدام بشكل خاص في المناطق التي تتعرض لمناخ حار لفترة طويلة من السنة.
- 3- تزداد قابلية المزج والتشغيل للخلطة الإسفلتية المحسنة بحبيبات البولي إيثيلين من خلال زيادة نسبة فراغات المواد الحصوية في الخلطة الإسفلتية ونسبة الفراغات الهوائية دون التأثير على الكثافة الحجمية.

#### 5. التوصيات:

- 1- حيث أظهرت عملية استخدام تقنية إضافة مادة البولي إيثيلين عالي الكثافة كإضافات لمادة البيتومين تحسناً ملحوظاً في قيم الثبات عند نسب الإضافات المختلفة عليه نوصي باستخدام مخلفات المواد البلاستيكية في الخلطة الإسفلتية لتحقيق هدفين (الحصول على خلطة إسفلتية عالية الثبات وتخليص البيئة من المواد البلاستيكية الضارة).
- 2- اجراء اختبارات إضافية بإضافة نسب أكبر من المواد البلاستيكية مع الحفاظ على نسب الإسفلت لإمكانية الحصول على نسب تؤيد استخدام كمية أكبر من المواد البلاستيكية.
- 3- كما نوصي ايضا باستمرار البحث في هذا الموضوع لما له من أهمية في تخفيض كمية المواد البلاستيكية المتراكمة في البيئة بشكل يحررها من المواد السامة.
- 4- تأثير استخدام مواد إعادة التصنيع (مقارنة بين المواد المصنعة وإعادة التصنيع)
- 5- اعادة تحليل النتائج استنادا للنتائج المتحصل عليها.

#### 6. المراجع

- [1] هدير نصر -الإسفلت من الألف إلى التاء - (2017/12/06).
- [2] ويكيبيديا, الموسوعة الحرة- متعدد الإيثيلين- (2018/4/25)-  
https://ar.wikipedia.org/w/index.php?title=متعدد الإيثيلين&oldid=28362982 .
- [3] J.K. Appiah et al. / Use of waste plastic materials for road construction in Ghana- Case Studies in Construction Materials -1(2018) - 6 (2017) 1-7-  
journal homepage: www.elsevier.com/locate/cscm.
- [4] J. Rogers martin. "Hugh A. Wallace "(Hill Book Company © 1967).

## تقييم فني لمبنى خرساني متضرر جراء قذائف حرب: دراسة حالة

مصطفى سعد محمد عبد الفتاح\*<sup>1</sup> وأشرف حامد محمد عبدالقادر<sup>2</sup>

1 مهندس وباحث، مركز التدريب والبحوث والاستشارات، قسم الهندسة، ديوان المحاسبة، البيضاء، ليبيا

2 أستاذ مشارك، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة بنغازي، ليبيا

\*Mustafa1711985@gmail.com

## الملخص

تتضمن هذه الدراسة تقييم انشائي لمبنى كلية الاقتصاد القاطع الشمالي جامعة بنغازي المتضرر جراء قذائف حرب. حيث تشمل هذه الدراسة أسلوب وخطوات التقييم التي يجب القيام بها عند تقييم حالة المباني الخرسانية المتضررة وذلك للوصول الى القرار بشأن إعادة تأهيل المبنى من عدمه. تم في هذه الدراسة اجراء الفحص البصري وتقييم الاضرار بالمبنى ومن ثم اجراء الاختبارات والمتمثلة في اختبار مطرقة الارتداد، سرعة الموجات فوق الصوتية، اختبار القلوب الخرسانية واختبار الشد لعينات من قضبان حديد التسليح. وبالاستعانة ببرامج النمذجة الهندسية وبعد ادخال كافة مقاطع العناصر الانشائية وخواص المواد (خرسانة وحديد تسليح) للتأكد والتحقق من كفاءة ومقاومة المبنى حيث تم استبعاد كل العناصر الانشائية المتضررة والخارجة عن الخدمة. وبعد اجراء عملية التحليل للمبنى المتضرر واستعراض النتائج الخاصة بالهبوط طويل الأمد للبلاطات تبين ان قيم الهبوط تجاوزت في بعض النقاط (الأماكن القريبة من العناصر المتضررة) القيم المسموح بها.

الكلمات الدالة: مبنى، قذائف، تقييم الاضرار، تقييم انشائي، اختبارات، نمذجة.

## المقدمة:

تعرض الهياكل الهندسية القائمة بشكل عام والهياكل الخرسانية المسلحة بشكل خاص لأنواع عديدة من الأضرار والتدهور للأسباب المختلفة وظروف التعرض خلال دورة حياتها، مما يقلل من مقاومة العناصر الهيكلية من خلال التأثير على مواد البناء والأنظمة الإنشائية. وهذه الأسباب قد تكون طبيعية أو من صنع الإنسان، مثل الحروب التي تؤدي إلى حدوث أضرار بالمنشآت الخرسانية تختلف في نوعها وشدها ومداهما من مبنى إلى مبنى آخر ومن عنصر إلى آخر. تم إجراء دراسات عديدة [1-4] حول العالم وذلك لتقييم الاضرار الناتجة عن الانفجارات بالمباني الخرسانية.

تعرضت بعض المدن في ليبيا الى حروب الامر الذي أدى إلى حدوث أضرار متفاوتة في المباني والمنشآت الخرسانية سواء الخاصة أو العامة وخاصة في مدينتي بنغازي ودرنة في شرق ليبيا. مما يحتم اعادة تأهيل وتشغيل هذه المباني من جديد وخاصة المباني الحيوية وهذا يتطلب إعداد دراسات فنية لمعرفة مدى الضرر في كل مبنى وكذلك معرفة المباني التي يمكن ترميمها وإعادة تشغيلها والمنشآت أو المباني التي تلزم إزالتها وإنشائها من جديد.

تهدف هذه الدراسة بشكل أساسي إلى دراسة وتقييم مبنى كلية الاقتصاد جامعة بنغازي - القاطع الشمالي للكلية، المتضرر من جراء الحرب في مدينة بنغازي. حيث تم تقييم الوضع الإنشائي للمبنى بالاعتماد على الفحص البصري والاختبارات والنمذجة باستخدام برنامج حاسوب.

### منهجية البحث:

#### 1. الفحص البصري

يعتبر الفحص البصري من الأمور الأولية والمهمة في عملية تقييم المباني المتضررة بصفه عامه سواء من الحروب او الزلازل او الكوارث الاخرى ومن خلاله يتم حصر الاضرار والعيوب وتقييم العناصر الإنشائية للمباني وتحديد أهم العيوب والمشاكل الإنشائية الموجودة بها وكذلك يتم من خلاله تحديد نوع الاختبارات التي يجب إجرائها على العناصر الإنشائية.

#### 2. الاختبارات

تم اجراء بعض الاختبارات الحقلية والمعملية وذلك للتعرف على خواص المواد وكذلك لتقييم مبدئي لحالة العناصر الإنشائية المختلفة وهذه الاختبارات هي اختبار مطرقة الارتداد (مطرقة شميدت) واختبار الموجات فوق الصوتية واختبار القلب الخرساني واختبار الشد لقضبان حديد التسليح.

#### 3. النمذجة الحاسوبية

تمت عملية نمذجة المنشأ باستخدام برامج التحليل الإنشائي بعد إتمام قياس وتحديد الخصائص الإنشائية الفعلية للعناصر الإنشائية من أبعاد ومقاومة حيث تم استخدام برنامج 20 - ETABS - CSI - SAFE & CSI وذلك لإعداد نموذج يحاكي الوضع القائم للمبنى.

### النتائج والمناقشة:

#### 1. الفحص البصري

الشكل 1 يوضح أضرار كبيرة وتدميرية حدثت في بعض العناصر الإنشائية بالهيكل الخرساني لمبنى كلية الاقتصاد. أضرار كبيرة حدثت في بعض بلاطات الأسقف (شكل 2) تسببت في تشطي الخرسانة وفقدان كبير بالمقطع الخرساني. أضرار كبيرة حدثت أيضا لبعض الكمرات (شكل 3) تسببت في تشطي الخرسانة وفقدان في خرسانة المقطع الخرساني بسبب تعرض المبنى إلى قذائف وخروج عدد من العناصر الإنشائية عن الخدمة أدت الى قطع جزء من الكمرات وتصدعها وتفكك الأجزاء القريبة من مكان إصابة القذيفة.

كذلك تعرضت بعض الأعمدة لضرب (شكل 4) كبير في الأجزاء التي تعرضت للاستهداف المباشر وشملت هذه الأضرار اقتلاع بعض الأعمدة من مكانها، وتفتت وتهشم البعض الآخر وضياح مادة المقطع في منطقة التقاء الأعمدة بالكمرات مما أدى إلى التواء وانقطاع في حديد التسليح.

وبناء على الفحص البصري للعناصر الإنشائية المختلفة بالهيكل الخرساني تم تقدير نسبة الضرر في كل عنصر من العناصر الإنشائية أعمدة، كمرات وبلاطات كما مبين بالشكل 5.



شكل رقم (1): واجهة كلية الاقتصاد توضح الضرر الحاصل بالعناصر الإنشائية

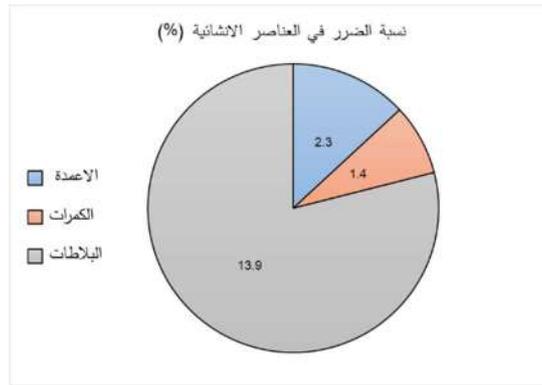


شكل رقم (3): ضرر في كمرة

شكل رقم (2): ضرر في بلاطة



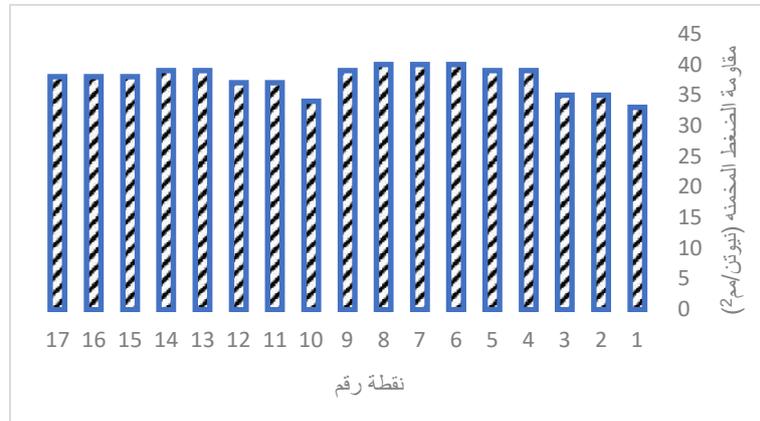
شكل رقم (4): ضرر في أعمدة



شكل رقم (5): نسبة الاضرار في العناصر الإنشائية

## 2. مطرقة الارتداد (مطرقة شميدت)

من خلال النتائج (شكل 6) المتحصل عليها من اختبار مطرقة الارتداد والتي تم اجراءها على عدد 17 نقطة كانت نتائج مقاومة الضغط للخرسانة تتراوح من 33 الي 40 نيوتن/مم<sup>2</sup>، وبالمقارنة مع القيم المتحصل عليها من اختبار القلب الخرساني لوحظ ان مطرقة الارتداد تعطي قيم لمقاومة الخرسانة أكبر من القيم المتحصل عليها من اختبار القلب الخرساني. على الرغم من ان الاختبار اعطى نتائج جيدة لكن بحسب الجمعية الامريكية للاختبارات والمواد فان هذه النتائج تعتبر تقديرية واسترشادية ولا يمكن الاعتماد عليها في تقدير المقاومة الفعلية.



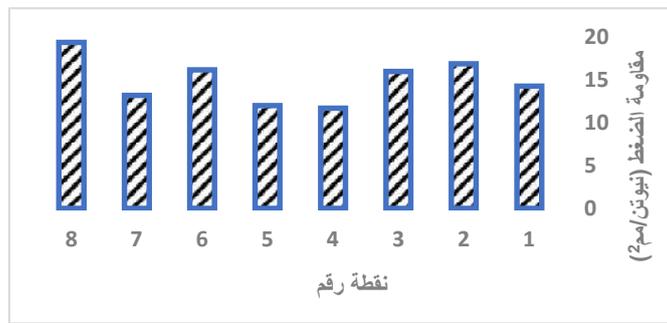
شكل رقم (6): مقاومة الضغط المتوقعة باستخدام مطرقة الارتداد

## 3. القلوب الخرسانية

من خلال نتائج (شكل 7) القلب الخرساني والذي تم اجراءه على عدد ثماني عينات من عدة نقاط تبين ان مقاومة الضغط تتراوح من 14 الي 19 نيوتن/مم<sup>2</sup> وكما موضح في الشكل 2. حيث انه بافتقاد المعلومات التصميمية لا

يمكننا عمل مقارنة بين قيمة مقاومة الضغط التصميمية والقيمة المتوسطة لمقاومة الضغط الخاصة بالقلب الخرساني والتي تساوي 15 نيوتن/مم<sup>2</sup>.

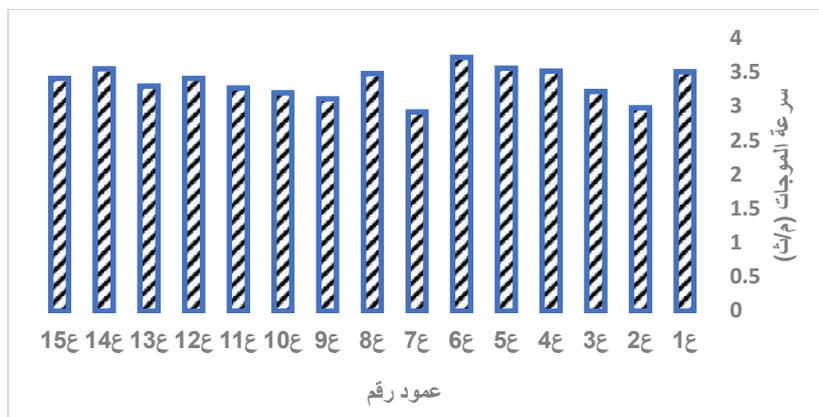
ويمكن تفسير ضعف مقاومة الخرسانة (15 نيوتن/مم<sup>2</sup>) الى ان عينات القلب الخرساني تم استخلاصها من العناصر الانشائية القريبة من العناصر المتضررة والخارجة عن الخدمة والتي قد انتقلت اليها احمال إضافية أدت بشكل او بآخر الى إضعافها. وبما ان الفحص البصري على المبنى لم يكشف تلف في الاعمدة والكمرات التي انتقلت اليها الاحمال ويمكن ان يفهم هذا على ان مقاومة الضغط للخرسانة المتحصل عليها من الاختبارات بمقدار 15 نيوتن/مم<sup>2</sup> لا تمثل جميع العناصر الانشائية وكذلك يمكن ان تكون قيمة هذه المقاومة في أجزاء أخرى من المبنى أكبر من هذه القيمة كذلك ان العينات التي تم اخذها لا تمثل الخرسانة في كافة المنشأ.



شكل رقم (7): مقاومة الضغط لخرسانة القلوب الخرسانية

#### 4. الموجات فوق الصوتية

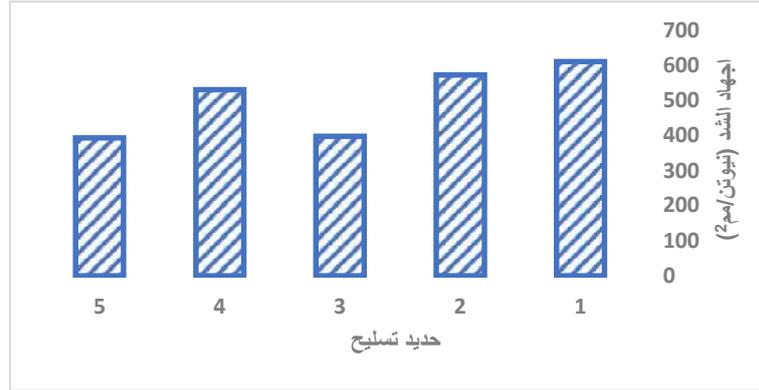
من خلال نتائج (شكل 8) اختبار الموجات فوق الصوتية تبين ان معظم نتائج سرعة الموجات أكبر من 3 م/ث وعلية فان حالة الخرسانة تعتبر جيدة. ويمكن تفسير صغر قيم سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية خلال بعض العناصر المدروسة الى تكون شقوق وفراغات داخل العنصر نتيجة تأثره بالقدائف.



شكل رقم (8): سرعة الموجات خلال خرسانة بعض الاعمدة

## 5. اختبار الشد على قضبان حديد التسليح

من خلال اجراء اختبار الشد على قضبان حديد التسليح لعدد خمس عينات من عدة نقاط مختلفة حيث تم اخذ هذه العينات من الأماكن التي حدث بها انكشاف لحديد التسليح بسبب القذائف وكانت النتائج تتراوح بين 390 الي 612 نيوتن/مم<sup>2</sup> وكما موضح في الشكل 9. وبالرغم من ان العينات اخذت من العناصر الانشائية المتضررة نتيجة القذائف والتي انكشفت فيها قضبان حديد التسليح، الا ان حديد التسليح ابدى مقاومة عالية.

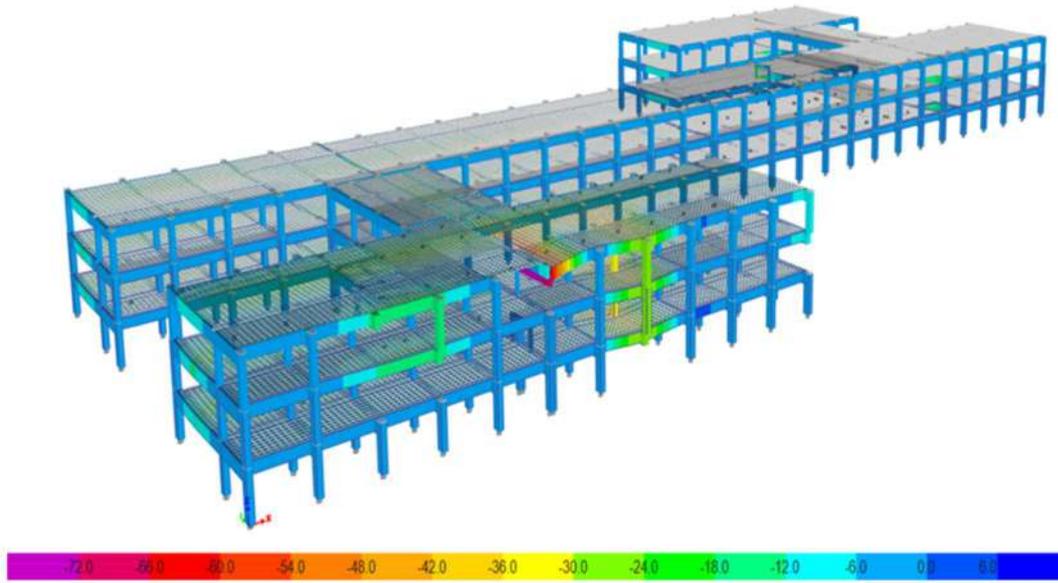


شكل رقم (9): مقاومة الشد لقضبان حديد التسليح

## النمذجة

بالاستعانة ببرامج النمذجة (CSI SAFE & CSI ETABS) تم اعداد نموذجين للمبنى موضوع الدراسة. حيث كان النموذج الأول يعبر عن حالة المبنى قبل إزالة العناصر الانشائية المتضررة اما النموذج الثاني (شكل 10) فهو يعبر عن المبنى المدروس بعد استبعاد كل العناصر الانشائية المتضررة والخارجة عن الخدمة.

وبعد استعراض نتائج الترخيم طويل الأمد على كل من النموذج الأول والثاني كانت النتائج كما موضح في الجدول 1. وكما مبين بالجدول سبب زيادة هبوط البلاطات ذات الاعصاب في النموذج الثاني كان نتيجة تضرر العناصر الانشائية الحاملة لهذه البلاطات وخروجها عن الخدمة.



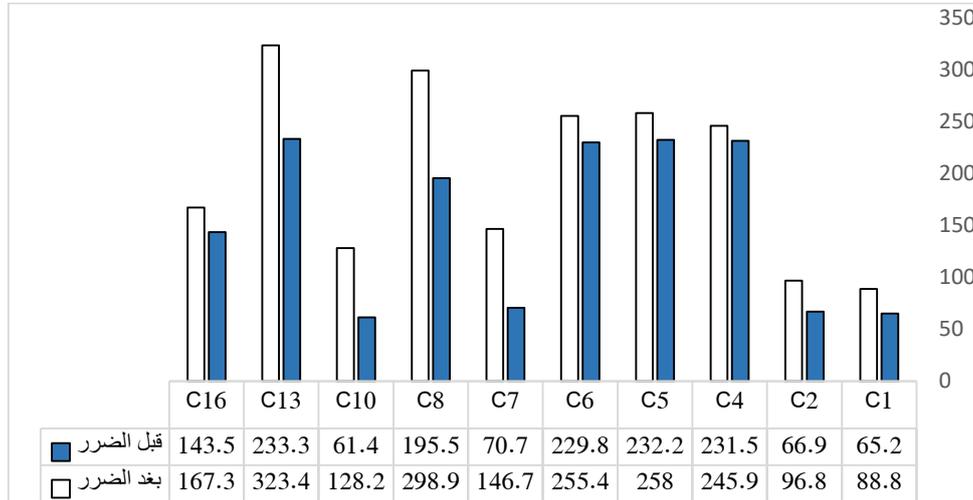
شكل رقم (10): النموذج الثاني يحاكي الوضع القائم لمبنى كلية الاقتصاد القاطع الشمالي لجامعة بنغازي

جدول 1: قيم الترخيم في البلاطات بالنموذج الأول والثاني

القيمة المسموحة	الترخيم		الطابق	العنصر
	النموذج الثاني	النموذج الاول		
2.45	3.40	2.01	الأرضي	S8,S7 بلاطة معصبه
2.25	1.20	1.16	الارضى	S19 بلاطة مصمتة
2.45	3.27	2.03	الاول	S22 بلاطة معصبه
2.25	1.21	1.21	الاول	S41 بلاطة مصمتة
2.45	7.73	2.15	الثاني	S45 بلاطة معصبه
2.25	1.40	1.40	الثاني	S48 بلاطة مصمتة

اما نتائج عزوم الانحناء على البلاطات للنموذج الثاني كانت اقصى قيمة لعزم الانحناء لعصب الطابق الأرضي والاول 21.8 كيلو نيوتن. متر/ عصب والطابق الثاني 13.9 كيلو نيوتن/ عصب وكانت قيمة العزم المقاوم 22.18 كيلو نيوتن. متر / عصب وكذلك الامر بالنسبة للبلاطة المصمتة حيث كانت قيمة العزم على بلاطة الطابق الأرضي والاول والثاني 20.5, 20.45, 16.2 كيلو نيوتن. متر/ متر وكانت قيمة العزم المقاوم 35.2 كيلو نيوتن. متر / متر أي ان البلاطات لازالت تحقق شروط المواصفة وتعتبر آمنة.

وعند اعداد النموذج الثاني في برنامج الايتابس واعطائه امر التحقق وذلك بعد ادخال كافة المقاطع الخرسانية للأعمدة والكمرات وإدخال كمية حديد التسليح الواقعية ومواصفات المواد قام البرنامج بالتحقق وإظهار مقاومة كل العناصر الإنشائية تبين حدوث فشل في بعض الكمرات والاعمدة. يرجع ذلك الفشل الي انتقال الاحمال من العناصر المتضررة الي العناصر القريبة منها وإعادة توزيع الاحمال عليها (شكل 11).



شكل رقم (11): الاحمال على بعض الاعمدة قبل الضرر وزيادة الاحمال عليها بعد تعرضها للضرر (بالطن)

#### الاستنتاجات:

بناء على نتائج الفحص البصري والاختبارات والنمذجة نستنتج الاتي:

- تضرر عدد من العناصر الإنشائية نتيجة القذائف حيث ان الاضرار شملت جميع أنواع العناصر من اعمدة وكمرات وبلاطات ودرج في عدة طوابق (الأرضي - الأول - الثاني) وتجدر الإشارة الي ان تأثير القذائف على المبنى محدود وتعتبر واجهة القاطع الشمالي لكلية الاقتصاد هي الأكثر تضررا نتيجة القذائف.
- يعتبر مبنى كلية الاقتصاد القاطع الشمالي في حالة انشائية مستقرة رغم وجود بعض العناصر الإنشائية (كمرات - أعمدة - بلاطات) خارج الخدمة.

#### التوصيات

- ضرورة المحافظة علي الخرائط المعمارية والانشائية ومعلومات التصميم بالإضافة الي التقارير الجيوتقنية الخاصة بالتربة لكل من المباني الإدارية والجهات العامة وذلك للرجوع اليها في حالة التقييم او حدوث اضرار للمباني.
- العمل على وضع الية موحدة لتقييم المباني المتعرضة للاضرار نتيجة القذائف.
- تطوير برامج حاسوبية في عملية التقييم لما لها من فاعلية في عامل الزمن والدقة في عملية التقييم.

- دراسة اعمال الإصلاح والترميم المطلوبة على العناصر الانشائية المتضررة متضمنة المواد المستخدمة وطرق المعالجة والتكلفة والمدة الزمنية المطلوبة.

#### المراجع

1. عبدالرزاق فرج امحمد و علي احمد مصباح، الانهيارات والتشوهات في المنشآت الخرسانية المتعرضة للقذائف والانفجارات، المؤتمر الدولي الثالث للعلوم التقنية، ليبيا، طرابلس، 2020.
2. سميرة سالم أبو نواره، أحمال الانفجارات والاعتبارات التصميمية للملاجئ، المؤتمر الوطني السابع لمواد البناء والهندسة الإنشائية، ليبيا، البيضاء، جامعة عمر المختار، 2018.
3. عبد الحميد الكيخيا، التقييم الإنشائي للأبنية البيتونية المسلحة المتصدعة، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية - سلسلة العلوم الهندسية، المجلد 37، العدد 4، 2015.
4. صباح الحلبيّة وأحمد سعيد قصاب، استراتيجيات إعادة الإعمار بعد الحروب والكوارث في سوريا (مدينة حماة نموذجا)، مجلة جامعة حماه، المجلد 1، العدد 2، 2018.

## التحليل الحراري للأعمدة الخرسانية المسلحة المعرضة للحريق باستخدام طريقة العناصر المحدودة

مصطفى عبد المنان<sup>1\*</sup> , عيد العكر<sup>2</sup> , محمود خطاب<sup>2</sup>

1 طالب دراسات عليا، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة عمر المختار، ليبيا

2 أستاذ مساعد، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة عمر المختار، ليبيا

\*للمراسلة: mustafa.abdalmanan@omu.edu.ly

### الملخص

تعتبر الخرسانة المسلحة مادة غير قابلة للاشتعال عند تعرضها لدرجات حرارة عالية، إلا إن خواصها الميكانيكية تتدهور عند تعرضها لدرجات حرارة مرتفعة ولدراسة سلوك الخرسانة المسلحة في مثل هذه الظروف، يجب حساب درجات الحرارة المتغيرة داخل العنصر الخرساني. يقدم هذا البحث نموذجاً رياضياً ثنائي الأبعاد يعتمد على طريقة العناصر المحدودة (**Finite Element Method**) لحل معادلة الحرارة عند منتصف ارتفاع الأعمدة الخرسانية بأبعاد مختلفة وفقاً للمعايير اختبارات الحريق التي حددتها المواصفة ASTM-E119، حيث تم تعريض الأعمدة للحريق من جميع الجهات. في هذه الدراسة تم تطبيق طريقة Galerkin لحل المعادلات الحرارية (معادلة فورييه) حيث تم تقسيم مقطع العمود إلى عناصر صغيرة يشار إليها باسم العناصر المحدودة. أظهرت النتائج أن الأعمدة المستطيلة ذات نسبة العرض إلى الارتفاع (2:1) أعطت مقاومة أقل للحريق مقارنة بالأعمدة المربعة.

الكلمات الدالة: طريقة العناصر المحدودة، المحاكاة الحرارية، الطريقة العددية، الحريق، أعمدة خرسانية.

### 1. المقدمة

تستخدم الخرسانة المسلحة على نطاق واسع كمادة إنشاء رئيسية في جميع أنحاء العالم ويرجع ذلك إلى العديد من المزايا التي تمتلكها الخرسانة المسلحة مثل القوة والمتانة وسهولة التصنيع ومقاومتها للحريق. ومع ذلك، قد تبين أن خواص الخرسانة تتغير بسبب حرارة عالية. حيث تحدث العديد من التفاعلات الفيزيائية والكيميائية في الخرسانة عند تعرضها للحرارة مما يؤدي إلى انخفاض ملحوظ في القوة والصلابة. وفي بعض الأحيان، قد يؤدي ذلك إلى انفصال أجزاء من الخرسانة عن سطحها، وبالتالي انخفاض مساحة المقطع العرضي. الخرسانة وحديد التسليح لهما معامل تمدد حراري متشابه لدرجة حرارة تصل إلى 400 درجة مئوية [1] ولكن عندما تزداد الحرارة عن 400 درجة، فإن الحديد يتمدد بشكل أكبر من الخرسانة مما قد يسبب تشققات في الخرسانة وتقليل الصلابة وانخفاض مقاومتها للحريق مع مرور الوقت. ونتيجة لهذا التعقيد، فإن سلوك الخرسانة المعرضة للحريق لا تزال غير مفهوم تماماً [2].

تعد حوادث الحريق من أكثر الكوارث شيوعاً وشدة على مستوى العالم وبعد إجراء العديد من الدراسات على سلوك الخرسانة المسلحة المعرضة للحريق، أوضحت الدراسات أن أقصى الحمل لعمود الخرساني المعرض لنار انخفاض

بمقدار 20 - 40 % بعد تعرض العمود الى الحريق. كذلك يحدث انخفاض كبير في معامل المرونة في درجة حرارة عالية، مما يؤدي إلى انخفاض قدره 62 - 72 % بعد وصوله الى درجة حرارة 400 °C وما فوق [1].

اثناء اندلاع الحريق في المباني الخرسانية، يعتمد أداء المبنى الخرساني خاصة على سلوك الأعمدة حيث ان هذه العناصر الإنشائية لها أهمية كبيرة فيما يخص سلامة وامان المبنى لأنها تساهم في توفير القدرة الاستيعابية المطلوبة والاستقرار العام. قد يؤدي انهيار عمود واحد أو أكثر من الأعمدة الأساسية إلى الانهيار التدريجي للمبنى بأكمله [1]. يتم استخدام تقنيات مختلفة لتقييم التحليل الحراري للمنشئ الخرساني أثناء الحريق. تبدأ من الحسابات اليدوية الأساسية وصولاً الى النمذجة ثلاثية الأبعاد المعقدة. الحساب اليدوي يمتاز بتقنيات تحليل مبسطة، بينما تتميز تقنيات تحليل ثلاثية الأبعاد بالتعقيد. فيما يخص تحاليل توزيع درجة الحرارة، يتم استخدام طريقة العناصر المحدودة على نطاق واسع [4]. في هذا البحث تم استخدام طريقة العناصر المحدودة لنمذجة استكشاف خصائص مقاومة الحريق للأعمدة المربعة والمستطيلة [5].

يقلل الحريق من قوة وصلابة الأعمدة وبالتالي يؤدي الى فشل العنصر الخرساني. اضافة الى ذلك، فقد أثبتت الدراسات أنه حتى بعد تعرض الخرسانة المسلحة لدرجات حرارة عالية وتركها لتبرد دون أي احمال، فإن المقاومة الخرسانة تستمر في الانخفاض تدريجياً، وهذا يعني أن صمود المنشئ الخرساني اثناء وبعد الحريق لا يعني أن المنشئ آمن للاستخدام. وعليه يجب فهم تأثير ارتفاع درجة الحرارة على العناصر الخرسانية بشكل كامل لتعزيز السلامة للمنشئ. تقدم هذه الورقة نموذجاً عددياً ثنائي الأبعاد يعتمد على طريقة العناصر المحدودة لحساب توزيع درجات الحرارة لأعمدة خرسانية اثناء تعرضها للحرق.

## 2. النمذجة العددية

يتم التعبير عن معادلة فورييه التي تمثل توزيع درجة الحرارة خلال مقطع العمود بالصيغة التالية [6]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = pc \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

حيث  $T$  هي درجة حرارة الخرسانة،  $k_x$  و  $k_y$  هي معاملات التوصيل للخرسانة في الاتجاهين  $x$  و  $y$  على التوالي،  $p$  هي كثافة المادة، و  $c$  هي الحرارة النوعية.

الشروط الحدودية المستخدمة هي حدود كوشي، والتي يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$T = T_p$$

$$k_x \frac{\partial T}{\partial x} l_x + k_y \frac{\partial T}{\partial y} l_y + h(T_s - T_f) = 0 \quad (2)$$

حيث  $T_p$  هي القيم المعروفة للنقاط العقدية لدرجات الحرارة على الحدود؛  $h$  هو معامل التوصيل الحراري؛  $T_s$  درجات الحرارة غير المعروفة عند النقاط العقدية الحدودية؛  $T_f$  هي درجة الحرارة المحيطة  $l_x$  و  $l_y$  هي جيب تمام الاتجاه الطبيعي إلى السطح قيد الدراسة.

### 3. حساب المجال الحراري

الطريقة العددية المستخدمة في هذه الدراسة تعتمد على نهج Galerkin حيث أن مجموعة المعادلات التفاضلية يمكن صياغتها كالآتي [7]:

$$[K]^e \{T\}^e - [C]^e \{\partial T / \partial t\}^e = \{F\}^e \quad (3)$$

حيث،  $[C]^e$  مصفوفة السعة؛  $[K]^e$  مصفوفة صلابة الحرارة؛  $\{F\}^e$  انتقال الحمل الكلي للحرارة.

تم استخدامها طريقة الفروق المحدودة لحل المعادلة (1) في المجال الزمني عددياً

$$([C] + \Delta t [K_t]) \{T\}_b = ([C] + \Delta t ((1 - \theta) \{F_t\}_a + \theta \{F_t\}_b)) \quad (4)$$

حيث  $\{T\}_b$  و  $\{F_t\}_b$  هما  $\{T\}$  و  $\{F_t\}$  عند الزمن (b) و  $\{T\}_a$  و  $\{F_t\}_a$  هما  $\{T\}$  و  $\{F_t\}$  عند الزمن (a) ،  $\theta$  هو عدد قياسي ( $0 \leq \theta \leq 1$ ) يساوي 3/2 في طريقة Galerkin [8].

### 4. شروط الحدود الأولية

تختلف درجة حرارة الحريق في الواقع مع مرور الوقت بطريقة عشوائية يصعب نمذجتها، لذلك يتم استخدام ما يعرف بمنحنيات الحريق القياسية التي توفرها مواصفات التحليل، يتم فيها اعتماد أقصى بدرجة الحرارة لكل فترة زمنية بناء على الاختبارات المعملية، مما يعطي أسوأ سيناريو بحيث تبدأ من درجة الحرارة الحرجة للخرسانة أي ( $538^\circ C$  لأعمدة الخرسانية). تمثل اختبارات ومعايير الحريق هذه حالة الحدود الأولية في محاكاة الحريق [9]. وفقاً لمعايير ASTM E-119 [10]، تعطى العلاقة بين درجة الحرارة والوقت لاختبار أعمدة الخرسانية تعطى كآتي:

$$T_f = T_0 + 750[1 - e^{-3.79533\sqrt{t}}] + 170.41\sqrt{t} \quad (5)$$

حيث (t) بالساعات.

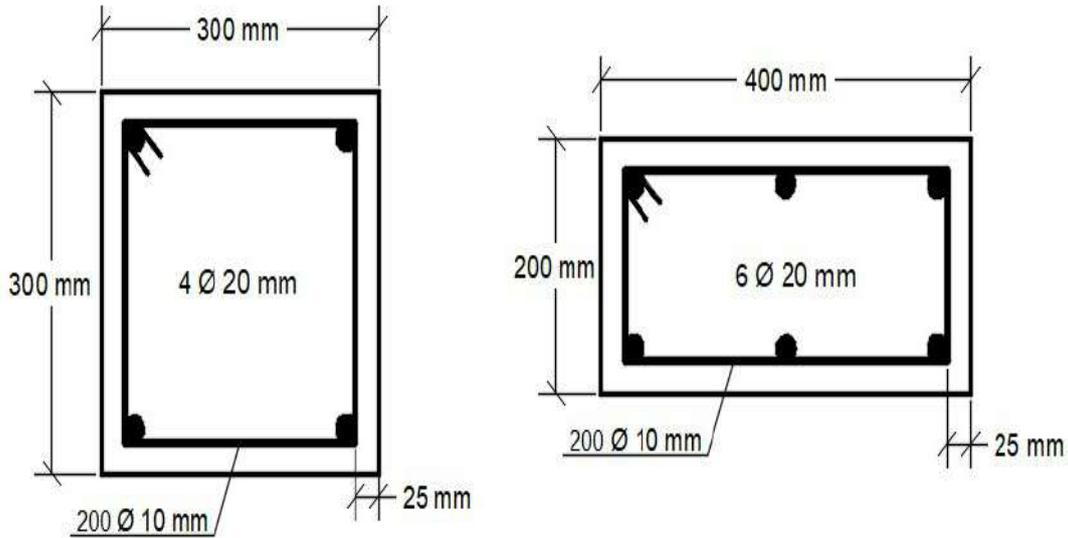
$$T_0 = 20^\circ C$$

## 5. العينات المستخدمة

العينات المستخدمة في هذه الدراسة هما نوعين من الأعمدة ذات المقاطع المختلفة، العينة الأولى هي عبارة عن عمود خرساني مربع بأبعاد (300×300) مم والعينة الثانية هي عمود مستطيل بأبعاد (200×400) مم ويبلغ ارتفاع كل عمود 3 أمتار، وتستمر مدة الحريق 4 ساعات بحيث تكون الأعمدة معرضة للحريق من الاتجاهات الأربعة. يوضح الشكل (1) حديد التسليح لكلا من العمودين، وقد تم حساب درجة الحرارة عند منتصف ارتفاع العمود لجميع الأعمدة.

## 6. نمذجة العناصر المحدودة

تم نمذجة المقطع العرضي للعمود باستخدام عناصر مربعة لكل من الحالتين. يوضح الجدول رقم (1) تفاصيل الشبكة وعدد العناصر المستخدمة في كل نوع. في هذه الدراسة، تم استخدام العناصر ذو الثمانية عقد ( eight node isoperimetric) في تحليل العناصر المحدودة الثنائي الأبعاد.



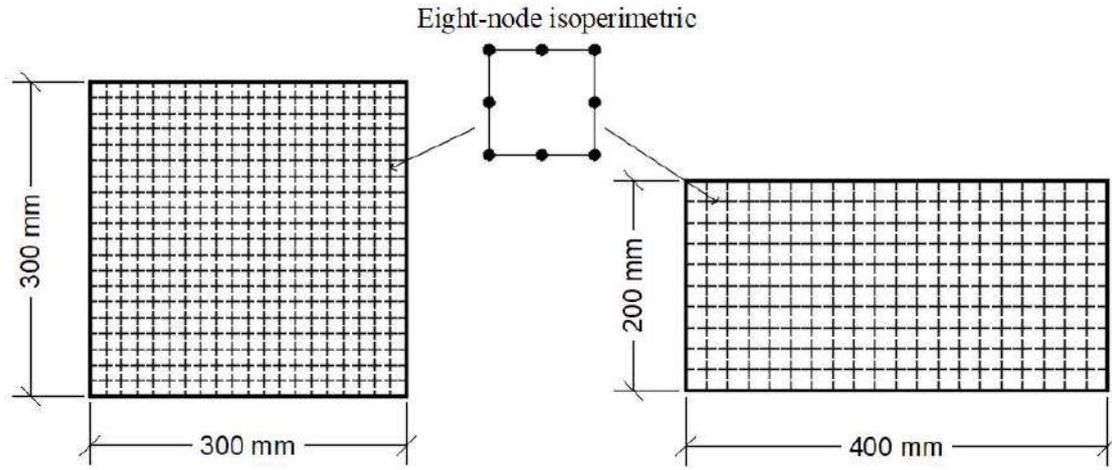
شكل رقم (1): التفاصيل الإنشائية للأعمدة المربعة والمستطيلة

جدول (1): تفاصيل أنواع الشبكات وعدد العناصر المستخدمة لكل نوع من الأعمدة

عدد العناصر	حجم العناصر (مم)	أبعاد الأعمدة
200	20 × 20	400 × 200
400	15 × 15	300 × 300

جدول (2): الخواص الحرارية والميكانيكية للخرسانة في درجة حرارة الغرفة [7]

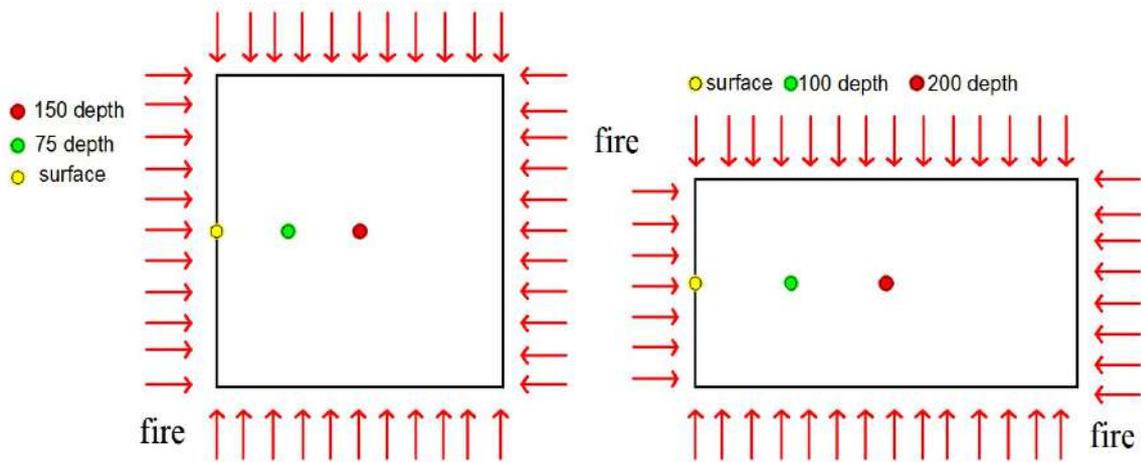
القيمة	الرمز	الوحدة	خرسانة
1.65	$K$	$W/m^{\circ}C$	Heat conduction coefficient
15.25	$h$	$W/m^2^{\circ}C$	Heat convection coefficient
900	$c$	$J/kg^{\circ}C$	Specific heat
2400	$p$	$kg/m^3$	Density
$2.25 \times 10^6$	$Ec$	$KN/m^2$	Elasticity modulus
0.18	$v$	-	Poisson
28	$f'c$	$N/mm^2$	Compressive strength



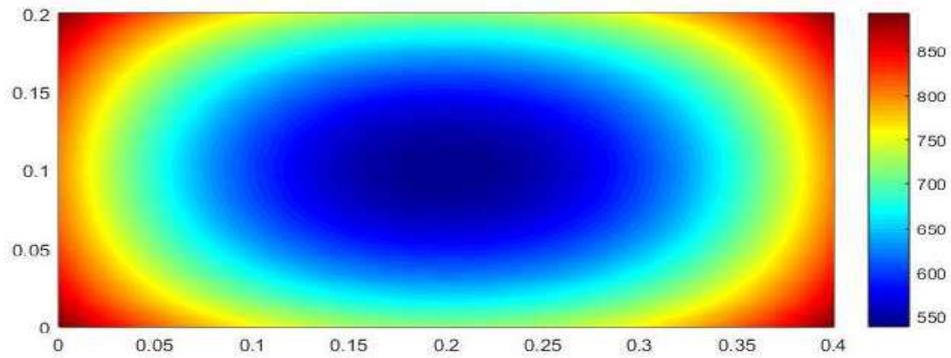
شكل رقم (3): شبكة العناصر المحدودة لعمود مربع (300×300) مم وعمود مستطيل (200×400) ملم

## 7. النتائج والمناقشة

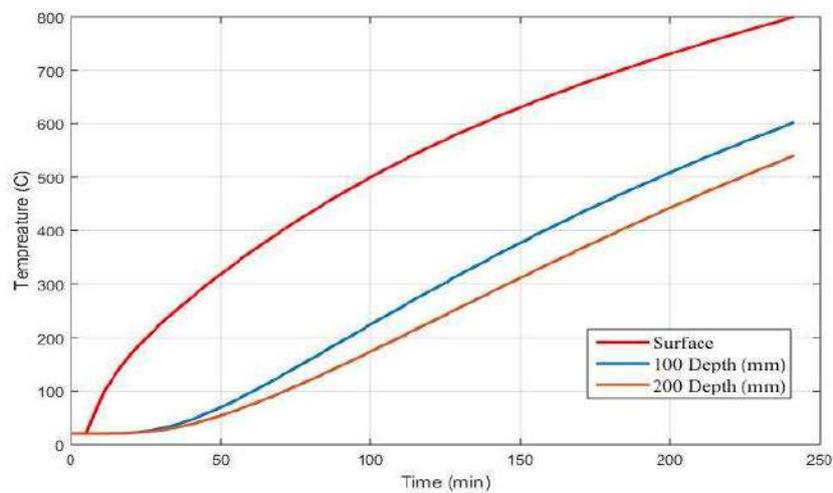
في سبيل دراسة تغير درجة الحرارة مع مرور الوقت، تم رسم درجة الحرارة لثلاثة مواقع مختلفة على طول مقطع الأعمدة كما هو موضح في الشكل (4) توضح الأشكال (5,6,7,8) درجة الحرارة في مواقع مختلفة على طول الأعمدة المربعة والمستطيلة على التوالي. تبين أن أعلى درجة الحرارة توجد على السطح الخارجي لعمود المستطيل بعد التعرض للحريق لمدة 4 ساعات كانت حوالي 800 درجة مئوية بينما كانت درجة الحرارة في منتصف المقطع حوالي 540 درجة مئوية مما يعني أن درجة حرارة الخارجية أعلى بنسبة 48% من درجة حرارة الداخلية ويرجع ذلك لأن النقاط الخارجية كانت متعرضة للحرارة بشكل مباشر على عكس النقاط الداخلية.



شكل رقم (4): مواقع لدرجة الحرارة الموضحة مع احترام الوقت للأعمدة المربعة والمستطيلة

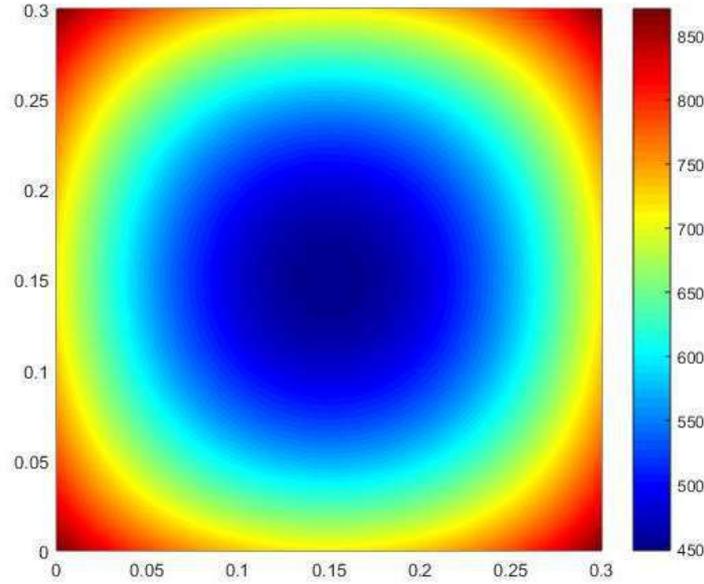


شكل رقم (5): توزيع مقطعي لدرجة الحرارة للعمود المستطيل حيث الحرارة مسلطة من جميع الاتجاهات

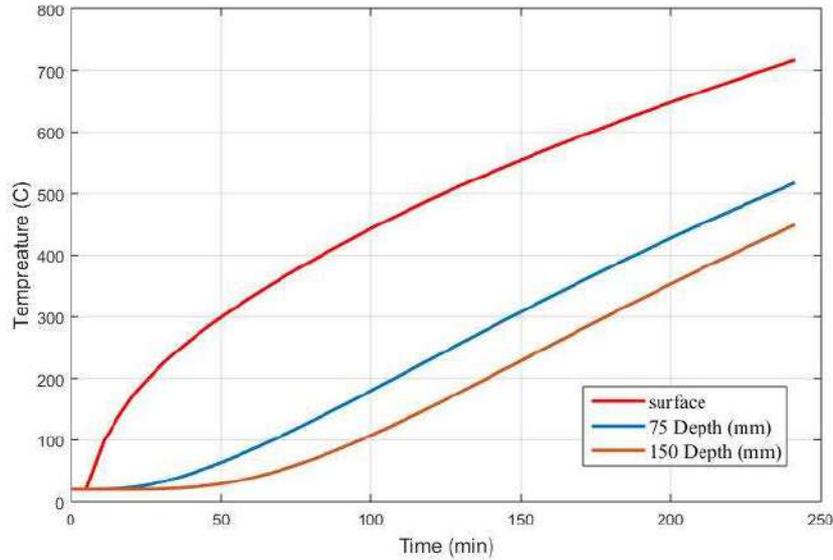


شكل رقم (6): درجة الحرارة على أعماق مختلفة مقابل الوقت للعمود المستطيل

0 أما بالنسبة للعمود المربع الموضح في الشكلين (7,8) فإن درجة حرارة الخارجية كانت اعلى من درجة الحرارة الداخلية (على عمق 150 م0م) بحوالي 58%. وكما تبين أيضا ان درجة الحرارة القصوى على السطح وعلى عمق 150 مم كانت حوالي 715 و 450 درجة مئوية على التوالي. الجدول رقم (3) يوضح درجة الحرارة القصوى لجميع النقاط الثلاث في كل من الأعمدة المستطيلة والمربعة.



شكل رقم (7): توزيع مقطعي لدرجة الحرارة للعمود مربع حيث الحرارة مسلطة من جميع الاتجاهات



شكل رقم (8): درجة الحرارة على أعماق مختلفة مقابل الوقت للعمود المربع.

جدول (3): درجة الحرارة القصوى لكل من الأعمدة المربعة والمستطيلة

موقع العقدة	مقطع العمود		المربع/المستطيل
	العمود المربع	العمود المستطيل	
على السطح	716.083	798.901	1.115
4/المسافة الاكبر	516.550	601.165	1.164
2/المسافة الاكبر	448.523	539.31	1.202

## 8. الاستنتاجات

في هذه الورقة، تم نمذجة نوعين من الأعمدة الخرسانية المسلحة ودراستها تحت تأثير الحريق باستخدام طريقة العناصر المحدودة. النوع الأول كان عبارة عن أعمدة مربعة بمقطع عرضي (300×300) مم، والنوع الثاني عبارة عن عمود مستطيل بمقطع عرضي (200×400) مم، وقد تم استخدام طريقة العناصر المحدودة في تطوير الخوارزمية باستخدام لغة FORTARN. تعرضت جميع الأعمدة للحريق وفقاً لمعايير ASTM-E119 حيث تعرضت العينات للحريق من جميع الاتجاهات الأربعة. تم حساب درجة الحرارة عند منتصف ارتفاع العمود وعليه تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

❖ في العمود المربع، كانت درجة حرارة السطح أعلى من النقاط الأخرى كما أن درجة الحرارة تتناقص كلما ازداد العمق داخل مقطع العمود بحيث كانت الحرارة عند المنتصف اقل بمقدار 37% مقارنة بالنقاط الخارجية و تم الحصول على نفس النتيجة بالنسبة للعمود المستطيل و لكن بنسبة انخفاض 32%. اما بالنسبة للنقاط التي هي على عمق 75 مم في العمود المربع، عند مقارنتها مع عمق منتصف المقطع 150 مم لم يتبين ان هنالك فرق كبير بينهما (حوالي 15%) كما هو موضح في الشكل (4) وكذلك لم يكن الفرق كبيراً في العمود المستطيل، حيث كان الفرق 11% للنقاط في نفس المواقع. بالتالي يمكن استنتاج ان كلما كانت النقطة بعيدة عن السطح، كلما انخفضت درجة حرارتها.

❖ بعد تعرض العينات لأربع ساعات من الحريق، تجاوزت درجة الحرارة الخرسانة من السطح حتى عمق 100 مم 550 درجة مئوية ووفقاً للمرجع [3]، عندما تصل درجة حرارة العنصر الخرساني إلى حدود 500 إلى 600 درجة مئوية، فان الخرسانة لا تعد امانة للاستخدام وسلامة المبنى تصنف كحالة حرجة.

❖ درجات الحرارة التي تم الحصول عليها من العمود المستطيل أعلى من تلك التي تم الحصول عليها من العمود المربع لجميع النقاط الثلاث كما هو موضح في الجدول رقم (3). وبالتالي فان النتائج تبين ان عندما يتعرض عمود خرساني مستطيل ذات نسبة العرض إلى الارتفاع (1:2) فان مقاومة للحريق تكون اقل من مقاومة عمود خرساني مربع تحت تأثير نفس ظروف وبنفس خواص الخرسانة.

يجب التنويه الى ان مساحة السطح للعمود المربع كانت أكبر من مساحة العمود المستطيل وهذا قد يمثل متغير لم يأخذ في عين الاعتبار في هذه الورقة، كذلك جدير بالذكر انه تم توزيع نقاط درجات الحرارة في العمود المستطيل

بشكل موازي لمحور x (موازي طول 400 مم) حيث انه في حال تغير أماكن النقاط الى الاتجاه الاخر فستكون النتائج مختلفة.

#### 9.المراجع

1. Cristina C. dos Santos, João Paulo C. Rodrigues, Tiago Pires, "FIRE RESISTANCE TESTS ON CONCRETE COLUMNS," in *15th International Conference on Experimental Mechanics*, Portugal, 2012.
2. Ali Raad Ismael Al-janabi, Mohd Nizam Shakimon, "Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Column after Exposure to Fire," *Research gate*, 2017.
3. Di Qin, PengKun Gao, Fahid Aslam, Muhammad Sufian, Hisham Alabduljabbar, "A comprehensive review on fire damage assessment of reinforced concrete structure," *ELSEVIER*, no. 16, pp. 1-14, 2022.
4. Jamil Afzal, Zhou Yihong, Muhammad Aslam, Maria Qayum, "A study on thermal analysis of under-construction concrete dam," *ELSEVIER*, no. 17, pp. 1-6, 2022.
5. Dongdong Yang, Faqi Liu, Shan-Shan Huang, Hua Yang, "Fire performance of eccentrically-loaded square and rectangular tubed-reinforced-concrete columns," *White Rose*, no. 33, pp. 1053-1076, 2021.
6. K. H. Bayagoob, J. Noorzaei, M. S. Jaafar, W. A. Thanoon, A. A. Abdulrazeg, "Modelling heat exchange between RCC dam and reservoir," *J. of Engineering and Computational Mechanics*, pp. 33-42, 2010.
7. A. A. Abdulrazeg, J. Noorzaei, M. S. Jaafar, P. Khanehzaei, T. A. Mohammed, "Thermal and Structural Analysis of RCC Double-Curvature Arch Dam," *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol.: 20, Issue: 03, pp 434 - 445, 2014.
8. J. Noorzaei, K. H. Bayagoob, A. A. Abdulrazeg, M. S. Jaafar, T. A. Mohammed, "Three Dimensional Nonlinear Temperature and Structural Analysis of Roller compacted Concrete Dam," *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, no. 47, pp. 43-60, 2009.
9. Prof. Awad S. Bodalal and Prof. Farag M. Shuaeibb Professor Mr. Tarek Eltalhi MSc, "Thermal Simulation and Mechanical Performance Evaluation of

a Concrete Column Subjected to Sever Fire Scenario,” *MIU Journa*, pp. 143–162, 2020.

10. American Society for Testing and Materials, ASTM E119: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials, WASHINGTON, D.C.: THE UNITED STATES OF AMERICA.

## مفهوم الشروخ بالأعمدة الخرسانية وطرق معالجتها لتحقيق الاستقرار الإنشائي (ورقة مراجعة)

صبيحة سعد عبدالله\*<sup>1</sup>، محمد عبدالقادر يوسف<sup>2</sup>

1 محاضر، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة والتكنولوجيا، جامعة الجفارة، ليبيا

2 محاضر، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة والتكنولوجيا، جامعة الجفارة، ليبيا

\*للمراسلة: Howida.Saad77@gmail.com

## الملخص

الأعمدة الخرسانية من أهم العناصر الإنشائية المسؤولة عن أستلام الأحمال من السقف والكمرات ونقلها إلى القواعد ومنها إلى التربة. تعتبر الشروخ بالأعمدة الخرسانية تصدعات تحدث في الخرسانة نتيجة الإجهادات والتغيرات في درجات الحرارة، الرطوبة، التصميم الغير دقيق للأعمدة والخلطة الخرسانية، الأهتزازات الزلزالية وغيرها. وتسبب هذه الشروخ في ضعف الأنتقالية الإنشائية ويمكن أن تؤثر على الاستقرار الكلي للمبنى، وقد تكون هذه الشروخ ظاهرة سطحية غير ضارة وقد تكون شروخاً عميقة تقلل من قدرة العمود على تحمل الأحمال مما يزيد من خطر انهيار المبنى. وفي هذا البحث، سنتناول التعريف ببعض الشروخ الشائعة في الأعمدة الخرسانية وأسباب حدوثها بالإضافة إلى طرق علاجها لتحقيق الأستقرار الإنشائي المطلوب. وسنتطرق إلى بعض الإجراءات الواجب اتباعها للحفاظ على استقرار الأعمدة الخرسانية.

كلمات مفتاحية: الشقوق بالأعمدة الخرسانية، معالجة الشقوق بالأعمدة الخرسانية، أسباب الشقوق بالأعمدة الخرسانية.

## المقدمة

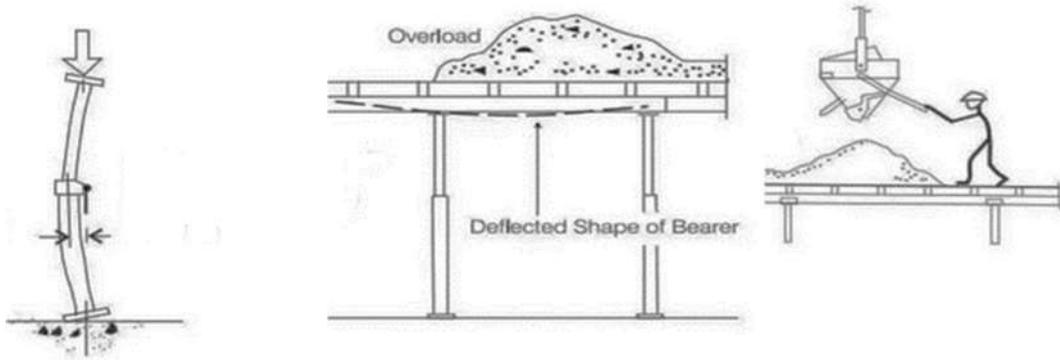
في المباني الخرسانية المسلحة يحدث انهيار للمباني بسبب الزلزال أو الحرائق أو الأخطاء التنفيذية والتصميمية للمباني التي تسبب بشكل رئيسي ظهور الشقوق المتكونة في عناصر الخرسانة المسلحة وخاصة المتكونة في الأعمدة الحاملة لتلك المباني. وكما نعرف أن الأعمدة هي أحد أهم الأعضاء الإنشائية التي تنقل أحمال المبنى إلى الأساسات. واي ضرر يلحق بالأعمدة يمكن أن يؤدي إلى انهيار المبنى بأكمله [1]. لذلك من أجل فهم سلوك هذا النوع من الهياكل قبل فشلها من الضروري تحديد آثار الشقوق وأنواعها وأسباب تكوينها. في هذه الدراسة تمت مناقشة أنواع الشقوق وتكونها نتيجة التأثيرات الداخلية والتأثيرات الخارجية، وكذلك المشاكل الناجمة عن الشقوق في الهياكل الخرسانية المسلحة وطرق معالجتها، والأشياء التي يجب القيام بها لمنع الشقوق في الأعمدة أو تقليلها للحد الغير مضر. كما تم في هذه الدراسة تحديد مستويات التأثير الناجم عن الشقوق، وخاصة الشقوق في الأعمدة الرئيسية للمباني الخرسانية، وتقديم حلول تقنية للأضرار الجسيمة. ظهرت الحاجة إلى هذه الدراسة بسبب حقيقة أن غالبية المباني الخرسانية معرضة للشقوق، وبالتالي تنتج أضرار مختلفة بسببها في المباني بشكل عام وفي الأعمدة بشكل خاص وزيادتها مع مرور الوقت بالأعمدة يؤدي إلى فقدان قدراتها الحاملة مما تضر بشكل كبير بفعالية المبنى وقد تخرجه من الاستخدام مما يضر باقتصاد المؤسسات المعتمدة على هذه المباني.

## 1. أسباب التشققات في أعمدة المباني الخرسانية

عادة ما تعزى الشقوق في تشييد المباني إلى سوء التصنيع واستخدام مواد رديئة وعوامل أخرى. ومع ذلك فإن هذه الأسباب على الرغم من صحتها ليست المساهم الوحيد في حدوث التشققات في المباني وخاصة المباني متعددة الطوابق. حتى الآن افتقرت الأبحاث حول هذه المسألة إلى دراسات تجريبية في مواقع البناء الفعلية تاركة السبب الأساسي الدقيق الغير معروف. في دراسة تهدف إلى تحديد الأسباب المحددة للشقوق في الإنشاءات الخرسانية متعددة الطوابق من خلال إجراء أبحاث تجريبية في مواقع البناء المختلفة، كشفت النتائج عن وجود تشققات رأسية وقطرية من أنواع مختلفة نتجت في تسلسل البناء خلال المرحلتين الأولى والنهائية من الصب كأسباب رئيسية لهذه التشققات [2].

## 1.1 العوامل البيئية

تحدث التشققات تقريباً بسبب جودة المواد الخام وظروف الخلط والخلط، والتي تؤثر بشكل مباشر على جودة صب الأعمدة الخرسانية. لذلك تختلف جودة البناء اختلافاً كبيراً إذا ما كانت جودة الصب للمواد عالية بالإضافة إلى ما إذا كان صب الخرسانة والمواد المستخدمة لعمود المبنى يفي بمتطلبات المواصفات، لذلك يجب فحص عملية البناء وجودة البناء في الموقع، فيما يتعلق بتوقيت عزل الدعامات والحماية من أشعة الشمس لأنه يمكن أن تحدث تشققات خرسانية غير مرغوبة إذا لم يتم مراقبة الصب والمعالجة بدقة. أما بالنسبة للطوابق المتعددة فإنه بعد الانتهاء من بناء المباني والأعمدة الخرسانية في الطابق العلوي فإن تكديس الأنقاض أو الرمال يليها ضغط النفايات على السقف علاوة على انه سيؤثر على شكل السطح الموضوعه عليه بشكل كبير فإنه كذلك سيؤثر على الدعامات وبناء الأعمدة تحته [3]. والشكل (1) أدناه يوضح ذلك.

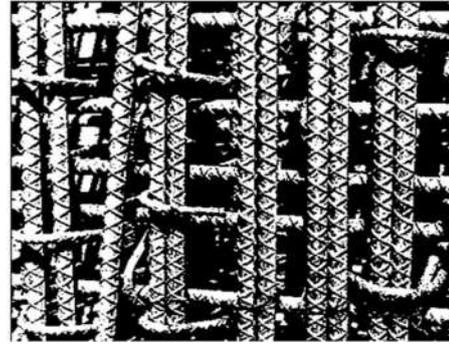
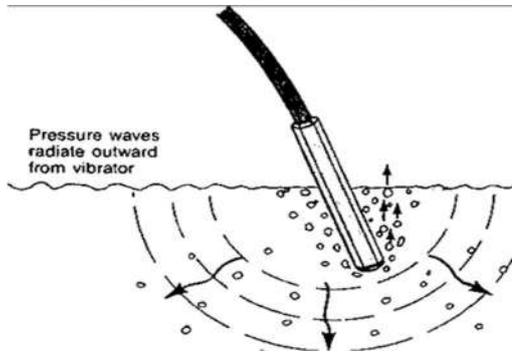


شكل رقم (1): أضرار تكديس الأنقاض والرمال على الأعمدة الخرسانية [4]

## 2.1 عوامل من التصميم والبناء

يجب اتباع التصميم ومراحل التنفيذ وتوفير تفاصيل المواصفات اللازمة لبناء الأعمدة كما يجب تجنب الجفاف السريع للغطاء الخرساني لقضبان التسليح بالقرب من أسطح الأعمدة وتجنب القضبان المنحنية التي تعد من الأسباب الرئيسية للتشققات في البناء الميداني للأعمدة. كما يجب مراجعة ضغط الهيكل الخرساني على العمود

بشكل فوري في حال تعديل التصميم وإزالة الأعمدة. في العادة يميل المصممون إلى تصميم عمود خرساني بتسليح فولاذي أخف وزناً وأقل تكلفة وهذا قد لا ينتج عمود مصمم بدقة للأحمال الموضوعه عليه مما يؤدي إلى حدوث تشقق محتمل في العمود. كما يجب تحديد الازدحام الطولي لقضبان التسليح المسموح به كما بالشكل (2) والتسليح الأقصى لتلبية الحد الأدنى من متطلبات كود التصميم وفي الوقت نفسه استخدام هزاز 2 فولت أو هزاز لا يقل عن 38 مم لدمج مكونات الخرسانة وتوحيدها في القوالب لضمان وصولها للحدود المثلى لتحمل الضغط وهي 220 كجم/سم<sup>2</sup> (مقاومة انضغاط بعد 28 يوماً للظروف النموذجية في الموقع) كما موضح بالشكل (3). يجب الحرص على أن يحدث الدمك الكافي خلف قضبان التسليح الداخلية وحول العمود. ويتم تحديد نوع الهزاز من خلال عوامل مختلفة على سبيل المثال إذا كان للخرسانة خصائص تدفق غير كافية فلا يمكن استخدام الهزاز الداخلي بدلاً من ذلك يجب استخدام الاهتزاز الخارجي [5].



شكل رقم (3): الموجات الناشئة عن هزاز

شكل رقم (2): الازدحام الطولي لقضبان التسليح [3]

خرساني أثناء الصب [3]

### 3.1 قصور المواد

بشكل عام تكون تشوهات الهيكل الخرساني التي لوحظت في الميدان نتيجة لأسباب ميكانيكية أو قصور في المواد أو أخطاء في البناء أو مزيج بين بعضها. الأضرار الصغيرة المخفية بالمواد المستعملة بالبناء تؤثر بشكل كبير على الخصائص الخرسانية المتجانسة، حتى أنها قد تؤثر على خصائص العناصر وتخلق بيئة خرسانية هشة على مستوى كل من الأعمدة والبلاطات مؤدية إلى تقوُّب وتشققات على السطح ينتج عنها التكسير والتفكك في اجزاء الهياكل الخرسانية [6].

### 2. أنواع الشقوق بالأعمدة الخرسانية

تتعرض الأعمدة بالهياكل الخرسانية المسلحة لإجهادات الضغط عند تحميل المنشأ فإذا كان التسليح المستخدم موزع بالشكل الملائم وكانت الخرسانة جيدة النوعية فإن التشققات تكون دقيقة بالقدر الكافي لتجنب تآكل فولاذ التسليح. وعموماً فإن هذه التشققات مقبولة إذا كان سمكها 0.2 ملم وأثبتت التجارب أن التآكل والصدأ يتزايدان

بسرعة فقط عندما يزيد سمك التشقق عن 0.4 ملم. لذلك تعدّ التشققات من أهم الدلائل التي تساعد المهندس على تحديد سبب التصدعات والعيوب. حيث تحدث التشققات الخرسانية لأسباب عديدة ومختلفة وقد تكون هذه التشققات على درجة من الخطورة بحيث تؤثر في عمر المبنى وفيما يلي تصنيف بعض التشققات حسب مسبباتها [7]:

### 1.2. تشققات تآكل فولاذ التسليح

ينمو الصدأ ويزداد حول فولاذ التسليح منتجا تشققات بامتداد طولها وقد يؤدي ذلك إلى سقوط الخرسانة كاشفة فولاذ التسليح، وتساعد كلوريدات الكالسيوم الموجودة في الخرسانة على ظهور هذا العيب، كما تساعد على ذلك الرطوبة المشبعة بالأملاح في المناطق الساحلية التي تحمل كلوريد الكالسيوم، وبالتالي فإن خطورة تآكل الفولاذ تصبح كبيرة في هذه الحالة.

### 2.2. التشققات الناتجة عن أخطاء في الدراسة الإنشائية

ومن هنا على سبيل المثال الأخطاء الرقمية والحسابية الناجمة عن سرعة إنجاز العمليات الحسابية أو الخطأ في عمليات الإدخال أثناء العمل البرمجي للحسابات، وعدم تدقيق الحسابات ومراجعتها قبل اعتمادها، وكذلك أخطاء ناتجة عن افتراض خاطئ للأحمال وحركة الأوزان على المنشأ، أو عدم الأخذ في الحسبان بعض الأحمال الخاصة مثل الرياح والزلازل. ولا ننسى كذلك إهمال بالخرائط في تفاصيل فولاذ التسليح وأماكن إيقافه وتوزعه والاختلاف في أقطاره.

### 3.2. التشققات الناتجة عن الشد أو الضغط المركزي

أثناء تعرض العمود إلى قوى شد تظهر التشققات فيه عبر كامل المقطع، وتكون عمودية على اتجاه القوة وذلك عند تجاوز إجهادات الشد لمقاومة الخرسانة على الشد في الأعمدة الخرسانية أو عند تجاوز إجهادات الشد لمقاومة الفولاذ على الشد في الأعمدة الخرسانية المسلحة، وتكون هذه التشققات على مسافات متساوية عند الكانات. أما التشققات الناجمة عن التحميل الزائد للأعمدة الخرسانية المسلحة بتسليح عادي والمضغوطة مركزياً فإنها تسبب فصل طبقة الحماية الخرسانية ويتبع ذلك التواء فولاذ التسليح الطولي وخاصة عندما تكون المسافة بين الكانات كبيرة. أما في الأعمدة المسلحة بتسليح حلزوني فتكون التشققات بشكل عمودي وضمن طبقة الحماية الخرسانية.

### 4.2. التشققات الناتجة عن أخطاء وسوء التنفيذ

وأهمها تتمثل في التأسيس على طبقات من التربة لا تنطبق خصائصها ومواصفاتها مع تلك المعتمدة في التصميم، والتنفيذ السيئ لأعمال التمديدات للمياه الحلوة أو لأعمال العزل مما يسمح للمياه بالتسرب إلى تربة التأسيس، وإهمال تنظيف الشدات الخشبية وفكها قبل الزمن المحدد للتصلب، ومنها أيضا مجموعة أخطاء تتعلق بالخرسانة: كفصل مكونات الخرسانة بسبب طرق الصب الخاطئة وحدوث ظاهرة التعشيش نتيجة عدم الرج واستخدام خلطات غير مطابقة للمواصفات الفنية وعدم العناية بسقي الخرسانة بالماء بعد الصب لمدة كافية.

أما سوء التنفيذ فيسبب الشقوق، ويحدد سبب الشقوق حسب مكانها فإذا كانت في الأركان وزاوية حافة العمود فغالباً سببها صدأ قضبان التسليح، وإذا كانت متوازية مع حدوث تمدد عرضي فقد يكون تفاعل القلويات مع الخرسانة هو السبب. وإذا سببت الشقوق انفصال في الخرسانة مع ملاحظة تحنيط في العمود، فيجب البحث عن الكانات في منطقة الشقوق فإذا كانت متباعدة عما حددته المواصفات فذلك هو السبب، والا فقد يكون نقص المقطع أو زيادة التحميل هو السبب. ونوضح في الجدول (1) التالي أشكال الشقوق في الأعمدة وأسبابها.

جدول (1): أشكال الشقوق وأسبابها

شكل الشقوق	وصف عام للشقوق	السبب
شقوق أفقية	شق واحد، أو عدة شقوق مع وجود هبوط بالأساسات	هبوط اساسات العمود
	شق عند اتصال الجائز بالعمود، وشكله يدل على تكون عقد	شقوق الهبوط اللدن
شقوق عمودية	عند الزوايا، مع تساقط للخرسانة وأثار صدأ الفولاذ	صدأ فولاذ التسليح
	شقوق رأسية متوازية مع حدوث تمدد عرضي	تفاعل القلويات مع الخرسانة
شقوق عشوائية	شقوق رأسية مع انفصال طبقة الحماية، وانحناء بقضبان التسليح الطولية	عيوب تنفيذ
	مع تقنتت بالخرسانة	تأثير غازات ومواد كيميائية
	شقوق عشوائية ظهرت بعد فك الشدة الخشبية بسرعة	انكماش وتقلص الخرسانة

### 3. طرق معالجة التشققات في أعمدة المباني الخرسانية

#### 1.3 حقن الشقوق

حقن الشقوق الخرسانية بواسطة حقن البولي يوريثين أو المواد القائمة على البولي يوريثين هي الأكثر شعبية من جميع المواد المستخدمة وتستعمل على نطاق واسع لإغلاق أو إصلاح الشقوق في الخرسانة التالفة والمعيبة كما بالشكل (4). يوفر حقن البولي يوريثين وقت لأنه سريع التصلب. كذلك توفر مواد حقن الشقوق الرئيسية عمراً من الإصلاحات المرنة للأعمال الهيكلية السليمة مع تقليل التكاليف وتحسين مظهر الأسطح الخرسانية. الفكرة الرئيسية وراء ذلك هي أنه في حين أن تقنيات التجبير مثل تثبيت الدبابيس السلكية تربط الأعضاء الخارجية، فإن هذا النوع من طريقة التثبيت يتسلل إلى الشق على طول الطريق باستخدام المادة اللاصقة. غالباً ما تستخدم هذه الطريقة عندما يحتاج المرء إلى لحام صدع تم إصلاحه هيكلياً إما عن طريق نسيج ألياف الكربون (الضغط الخارجي المطبق) أو عن طريق طحن الايبوكسي وإغلاق الصدع من الداخل [8].

### 2.3 حشو الأيبوكسي

يتكون الأيبوكسي من راتنج (مادة صمغية) ومصلب، والتي تستجيب عند خلطها بنسب صحيحة وتكون تفاعل طارد للحرارة. يتطور التفاعل بسرعة كبيرة لدرجة أن حشو الأيبوكسي المحيط يتصلب بسهولة مما يخلق رابطة جيدة والشكل (5) يوضح طريقة حشو الأيبوكسي. الجص الأيبوكسي المعتمد على مونوكسيس (أحاديات الأكسجين) المستخدم بموثوقية عالية لحشو الشقوق يحتوي على حوالي 100٪ من المواد الصلبة التي تعالج الشقوق في أقل من 20 دقيقة ومقاومة للمواد الكيميائية. من ناحية أخرى على الرغم من أن الأيبوكسي هو أكثر قوة من الخرسانة لكنه مكلف للغاية وغير مرن، وإذا كانت حواف الشقوق تتحرك فإن الجص الأيبوكسي سوف يتشقق [9].

### 3.3 تقوية ألياف الكربون

مع الطلب المتزايد باستمرار على إعادة تأهيل الأعمدة الخرسانية المسلحة، ارتفعت أسهم البوليمر المقوى بألياف الكربون CFRP لخصائصه الفعالة ومن حيث التكلفة التي تجعله الحل الأمثل لإصلاح الشقوق الناجمة عن تآكل الفولاذ المسلح أو التحميل الزائد أو النشاط الزلزالي. يمكن استخدام ألياف البوليمر المدعمة بألياف الكربون لإعادة القوة والقدرة إلى هذه العناصر الهيكلية المعرضة للخطر كما موضح بالشكل ادناه. من المزايا الإضافية لهذا الإصلاح أن البوليمر المقوى بألياف الكربون سيعمل أيضًا على إنشاء حاجز لحماية حديد التسليح من العناصر المسببة للتآكل. على كل حال قبل تطبيقها على أجزاء العمود التالف يجب أن يتم تجهيزها بحيث يكون البعد النهائي لشريط الكربون أصغر قليلاً ويلتصق بالغراء. ثم نقوم بوضع الشريط على العمود مع الانتباه لملاء العمود الناقص في الخرسانة بالملاط أولاً. تم وضع السترة الخارجية في الاتجاه المحوري لقسم العمود ولفها تم تركيب الغلاف الذي يجب أن يلمس أولاً حواف العمود كما بالشكل (6). [10]

### 4.3 قضبان الصلب المحيطة بالعمود

[11] أشار إلى أنه في العديد من الحالات التي أصبحت فيها الشقوق مشكلة في الأعمدة الحاملة للوزن لوحظ أن القضبان الفولاذية المحيطة بالخرسانة تشكل شكلاً محدباً وحلقياً كبيراً، بناءً على ذلك، فإن القوة المحورية الضاغطة ستدفع لفصل الغطاء الخرساني عن حديد التسليح (مما يعرضه للعوامل الخارجية ويتسبب بتآكله). بالإضافة إلى ذلك عندما يتم صب 2-3 أعمدة خرسانية معاً في عملية واحدة، تصبح الاستمرارية والربط بين الخرسانة السابقة واللاحقة بين العمودين المتجاورين تشكل تحدياً كبيراً. وهذا يخلق أيضًا نقطة ضعف للقضبان الفولاذية لنقل القوة، مما يزيد من احتمال حدوث الشقوق وتكسر الغلاف الخارجي للعمود. ومن الطرق المناسبة لعلاج هذه المشكلة هي القمصان الحديدية كما بالشكل (7) التي تستعمل لترميم العمود وزيادة تحمله مع زيادة طفيفة في أبعاد العمود

ووزنه. بعد إحاطة الأعمدة الخرسانية بطبقة فولاذية تملأ الفراغات بين القميص والعمود الخرسانية باستعمال مونه ايوكسيه لاصقه.



[14]

شكل رقم (7): تدعيم الأعمدة  
الخرسانية بالقمصان الحديدية



[13]

شكل رقم (6): تقوية الأعمدة  
الخرسانية بألياف الكربون



[12]

شكل رقم (5): طريقة حشو  
العمود الخرساني الايوكسي



[12]

شكل رقم (4): طريقة حقن  
الشقوق بالأعمدة الخرسانية

#### 4. التدابير الوقائية لتجنب التشققات في أعمدة المباني الخرسانية

من الأفضل حل مشاكل الشقوق من خلال اتخاذ تدابير وقائية أثناء تصميم وبناء الهيكل الخرساني. من النادر جدًا إنشاء هيكل خرساني خالٍ من الشقوق، خاصةً للتطبيقات الخارجية. على الرغم من هذه المشكلات فإن التحسينات في تقنيات منع التشقق مهمة لأن الهياكل الخرسانية ذات التشققات الأقل هي الأفضل من الناحية الإنشائية والجمالية خلال فترة الخدمة الأولية وتجنب الإصلاحات والصيانة على المدى الطويل. وأهم التدابير المصممة لتقليل حدوث تشققات مستمرة في الأعمدة الخرسانية المسلحة وتقليل مدى التصدع هي:

##### 1.4 مراقبة الجودة أثناء البناء

في كل من المراحل الطازجة والمتصلبة للخرسانة يجب اتباع المواصفات وفقًا لمعايير الهياكل الخرسانية، كما يجب اتباع شروط البناء الخرساني المذكورة بشكل عام. يمكن أن يكون الفشل المرتبط في كثير من الأحيان بالبناء الخرساني ناتجًا عن أفعال بسيطة جدًا من الفعل أو الإغفال. وتشمل هذه عدم كفاية الدمك، وعدم كفاية المعالجة، وانكماش التجفيف، وتباعد الدعم، والتغيرات في درجة الحرارة، وتسوية الأراضي، والتسمية الخاطئة، وهجوم الكبريتات، وتفاعل الركام القلوي، والأضرار المادية الكربونية، وعدم كفاية المباني مثل التخطيط الإنتاجي الخاطئ، أو سوء التسلسل والتنسيق لعمليات البناء [15].

## 2.4 وضع التعزيز المناسب

إن وضع التسليح الصلب المطلوب والحفاظ عليه بشكل صحيح هو في بعض الأحيان أهم اعتبار في وضع الخرسانة وهو أمر يتم تجاهله بشكل متكرر في الممارسة العملية. في حين أن القضبان الفولاذية الموضوعة والمثبتة بشكل صحيح لا يمكن أن تمنع الشقوق من التكون إلا أنها يمكن أن تساعد في منع الجدران من الانبعاج والسحق تحت ضغط قطري. وبالمثل الشقوق بالقرب من الزوايا، يمكن للكانات الموضوعة بشكل عرضي والمربوطة بالقضيب المقابل بمسافات مناسبة أن تمنع المزيد من فتح الخرسانة [16].

## 3.4 الصيانة والفحص

المباني الحديثة تتقدم في السن، لذلك سوف تحتاج المباني في نهاية المطاف إلى إصلاح نتيجة مشاكل الشقوق في الخرسانة. بعد تشييد المبنى، من المحتمل أن تكون الصيانة والإصلاح مكلفة نسبيًا، وإذا لم يتم إجراء الإصلاح والحماية في الوقت المناسب فسوف تتدهور العناصر الخرسانية بسبب التعرض لمجموعة متنوعة من التأثيرات البيئية الضارة. بشكل عام، إعادة التأهيل تجعل الهيكل يعمل بشكل أفضل مما هو عليه. على كل حال، تؤثر الأعمدة الخرسانية المتدهورة التي تظهر في وقت مبكر علامات التدهور الهيكلية وإلى نقص القدرة على حمل الحمولة، وهذه المشاكل هي الأسباب الرئيسية للضعف في المباني الخرسانية. إن الفحص الشامل للأعضاء الإنشائية له أهمية لا مثيل لها في توفير معلومات مهمة لاتخاذ قرارات متعلقة بأداء البناء وسلامته وإصلاحه وعمره الافتراضي [17].

## 5. الخاتمة

بناءً على ما سبق، تم تحديد أن الشقوق في العمود الخرساني يبدو أنها نشأت بسبب عوامل خارجية وداخلية مختلفة، مثل الظروف البيئية السائدة والأحمال الهيكلية الكبيرة التي تعرض لها. وبمعرفة أنواع الشقوق بالأعمدة الخرسانية وحجمها يمكن تحديد وسيلة المعالجة لها وكذلك التدابير الوقائية اللازمة لتجنبها. كذلك من الضروري إجراء مزيد من التحقيق المكثف والرصد المستمر لتجنب احتمال حدوث أي ضرر آخر أو مضاعفات هيكلية محتملة قد تنشأ في المستقبل، وبالتالي يصبح من المهم للغاية معالجة هذه المشكلة وتصحيحها على الفور من أجل الحفاظ على السلامة العامة للهيكل الخرساني والحفاظ عليه وضمان استدامته على المدى الطويل.

## المراجع:

[1] أدهم النديش، فؤاد الجرزموزي، ترميم منشآت خرسانية. (2022). منشورات جامعة ذمار كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية

[2] Aldellaa, I., Havlásek, P., Jirásek, M., & Grassl, P. (2022). Effect of Creep on Corrosion-Induced Cracking

- [3] Bruce A. (2014). Concrete vibration. Engineers. Daily (web site). Entrance time 9/4/2024.
- [4] What are the causes of concrete formwork failures. Article (35478). The Constructor: Building ideas (web site). Entrance time 9/4/2024.
- [5] Liu, J., Zhang, X., Lv, G., Wang, K., Han, B., & Xie, Q. (2021). Study on Crack Development of Concrete Lining with Insufficient Lining Thickness Based on CZM Method.
- [6] S. Meeussen, A., C. Oguz, E., van Hecke, M., & Shokef, Y. (2019). Response evolution of mechanical metamaterials under architectural transformations.
- [7] Kim, T. K. & Park, J. S. (2022). Comparative Analysis of Domestic and International Test Guidelines for Various Concrete Repair Materials.
- [8] Zhang, L., Huang, C., Li, Z., Wang, A., Gao, M., Gao, Y., & Wang, X. (2024). Experimental Study on Water-Plugging Performance of Grouted Concrete Crack.
- [9] Liu, L., Lei, S., Wu, F., Lin, W., Peng, K., & Fan, X. (2022). Experimental Study on Seismic Performance of Precast Columns Repaired with CFRP Fabrics.
- [10] Wang, H., Hao, J., Xue, Q., & Sun, X. (2023). Seismic behaviour of a wall-type concrete-filled steel tubular column with an end plate steel beam reinforced joint. Soil Dynamics and Earthquake Engineering.
- [11] Coffetti, D., Crotti, E., Gazzaniga, G., Carrara, M., Pastore, T., & Coppola, L. (2022). Pathways towards sustainable concrete. Cement and Concrete Research, 154, 106718.
- [12] DRICORE. Pro Concrete Repair Crack Injection Kit Instructions. Brochure. (web site). Entrance time 1/5/2024.
- [13] Reinforce and stabilize columns with advanced carbon fiber confinement solutions. Structural Reinforcement Solutions SRS. (web site). Entrance time 1/5/2024.
- [14] Ubani Obinna. (2023). Jacketing of Reinforced Concrete Columns. Struct Ville. (web site). Entrance time 1/5/2024.
- [15] Lai, B. L., Zhang, M. Y., Zheng, X. F., Chen, Z. P., & Zheng, Y. Y. (2023). Experimental study on the axial compressive behaviour of steel reinforced

concrete composite columns with stay-in-place ECC jacket. Journal of Building Engineering, 68, 106174.

[16] Obaidat, Y. T., Ashteyat, A. M., & Alfaris, S. F. (2020). A new technique for repairing reinforced concrete columns. Journal of Building Engineering.

[17] عصام ملحم. (2015). أسباب التشققات في المنشآت الخرسانية المسلحة وبعض طرق المعالجة، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، 2015، المجلد (37) العدد (2).

## تأثير الكلوريد على المباني الخرسانية المسلحة القائمة

د. ابراهيم رمضان العمري

عضو هيئة تدريس، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة صبراتة، ليبيا

## الملخص

كثيراً ما تتعرض المباني الخرسانية المسلحة للتلف والانهييار لأسباب وعوامل مختلفة، مما يشكل حاجة ملحة لتقييم حالة هذه المنشآت ومستويات الأضرار التي تعرضت لها، وذلك لضمان الاستثمار الآمن والسليم لها واتخاذ الإجراءات اللازمة وأحد الأشكال الرئيسية للهجوم البيئي هو دخول الكلوريد، مما يؤدي إلى تشقق وتقويت الخرسانة وتآكل حديد التسليح وانخفاض لاحق في قوة الهيكل وقابليته للخدمة وجمالياته.

يعرض هذا البحث النتائج الميدانية والمعملية لمبنى الإيواء في المعهد الوطني للسرطان في مدينة صبراتة، حيث تم إجراء فحص بصري للمبنى وإجراء الاختبارات الحقلية والمعملية بما في ذلك تأثير تغلغل وانتشار الكلوريد، حيث أظهرت النتائج عن تسجيل نسبة من 0.02 إلى 0.05 % لمحتوى الكلوريد في معظم العناصر الخرسانية ونسبة أكبر من 0.05 % تصل إلى 0.1 % لأحد العناصر الإنشائية المختبرة ووجود اختراق وانتشار الكلوريد يصل إلى عمق 75 ملم. سيصبح تقييم الهياكل الخرسانية المسلحة القائمة عملية ضرورية ومهمة للمهندسين على نطاق واسع في المستقبل بسبب تقدم عمر الهياكل والمباني القائمة، ويؤدي هذا التقييم إما إلى إعادة التأهيل أو الإزالة نتيجة لعوامل وأسباب طبيعية أو من صنع الإنسان.

الكلمات الدالة: انتشار الكلوريد، التآكل، حديد التسليح، الاختبارات غير الإتلافية.

## 1 المقدمة:

تعتبر الخرسانة المسلحة مادة اقتصادية لكونها مادة رخيصة التكاليف مع توفر موادها الأولية وملائمتها لكل الظروف ومن أهم خواصها توفير المناخ القلوي الذي يحمي حديد التسليح الموجود داخلها من الصدأ، إلا أن الظروف البيئية العديدة ساهمت في تدهور المباني المنفذة بهذه الخرسانة وبالأخص ذات المستويات المتدنية ويات واضحاً أن صدأ حديد التسليح هو السبب الأول لهذا التدهور والذي قد يؤدي مع مرور الوقت إلى انهيار هذه المباني جزئياً أو كلياً [1].

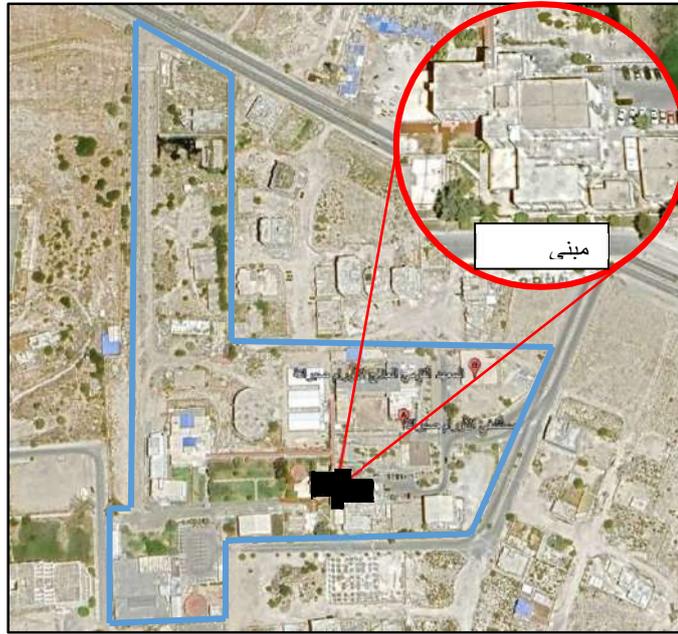
الخرسانات المنفذة في مناطق قريبة من البحر تكون أكثر عرضة للتدهور، حيث رطوبة الهواء المشبع بالأملاح يمكن أن تنفذ عبر التشققات الموجودة بالخرسانة وتعمل على صدأ حديد التسليح الذي بدوره يعمل على تشطي غطاء الخرسانة مما يعرض حديد التسليح إلى مزيد من التآكل وهذا أحد الأسباب الرئيسية التي أدت إلى تعرض مبنى الإيواء بمركز صبراتة إلى تصدع وتدهور العناصر الإنشائية الخرسانية، مما أدى إلى إغلاقه إلى حين إجراء الصيانة اللازمة له [2].

البيئة المحيطة بالهيكل الخرساني تمثل دوراً مهماً في دخول الكلوريد في الخرسانة، ونتيجة قرب المبنى من البحر فإن الاتجاه السائد للرياح القوية يؤدي إلى دخول وتغلغل الكلوريد المحمول جواً في العناصر الإنشائية المواجهة للرياح [3].

وقد يكون هذا التدهور سريع في حالة استخدام المواد الغير مناسبة أو تنفيذ الاعمال كانت غير مطابقة للمواصفات الفنية والأصول المهنية [4]. وتعرض هذه الورقة نتائج المعاينة الميدانية والاختبارات المعملية والأسباب التي أدت إلى انتشار صدأ حديد التسليح بالعناصر الإنشائية لمبنى الإيواء، والتوصيات لتجنب مثل هذا التدهور للخرسانة.

## 2 نبذة مختصرة عن مبنى الإيواء بالمعهد القومي لعلاج الأورام بصبراتة

يقع المعهد القومي في مدينة صبراتة وقد تم انشاء مباني المعهد سنة 1982م ويعتبر المعهد القومي لعلاج الأورام أحد اهم المراكز المتخصصة في علاج الأورام في ليبيا عامة والمنطقة الغربية خاصة ويتكون من عدة اقسام ومباني مختلفة كما هو موضح بالشكل رقم (1).



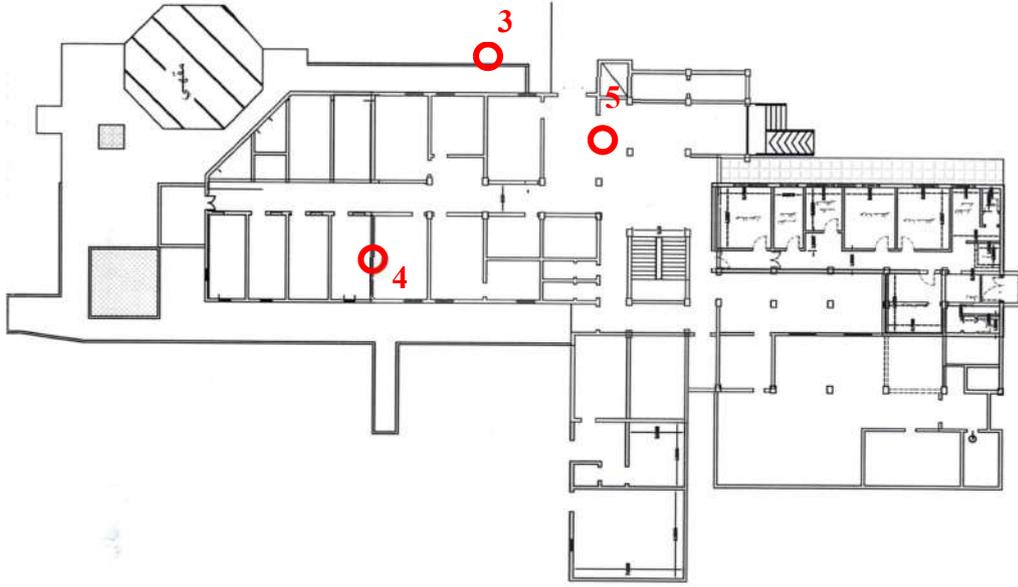
شكل (1): الموقع العام لمبنى الإيواء بمعهد الأورام بصبراتة

ويعتبر مبنى الإيواء بالمعهد القومي لعلاج الأورام موضوع الدراسة أحد أكبر مكونات المعهد ويتكون من أربعة طوابق بمساحة 800 متر مربع لكل طابق وبسعة استيعابية 120 سرير، وتم انشاء المبنى من قبل شركة اتحاد المقاولون العرب للإنشاءات من ضمن مكونات مستشفى صبراتة العام والذي باشرت الشركة في بناءه سنة 1982 ميلادي.

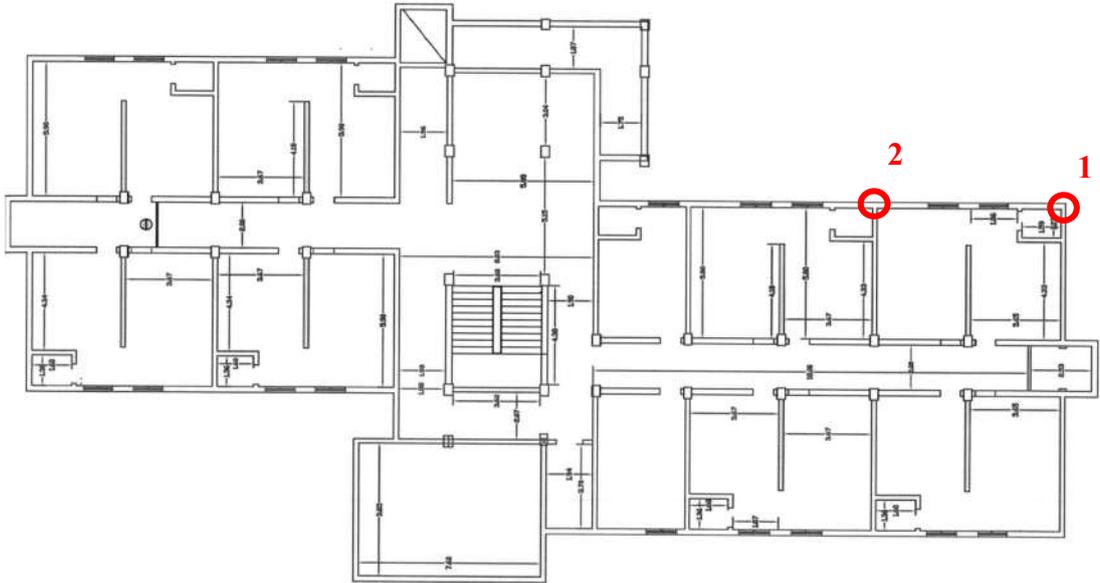
## 3 المنهجية

لمعرفة تدهور الخرسانة وحالة الهيكل الخرساني وحديد التسليح لمبنى الإيواء، فقد تم القيام بالزيارات الميدانية للوقوف على المشاكل أهمها تآكل حديد التسليح وتفتت الخرسانة ومن خلال المعاينة الميدانية تم تحديد أماكن أخذ العينات بحيث تشمل مختلف العناصر الإنشائية بالمبنى كما هو موضح بالشكل (2) والقيام بالاختبارات المعملية

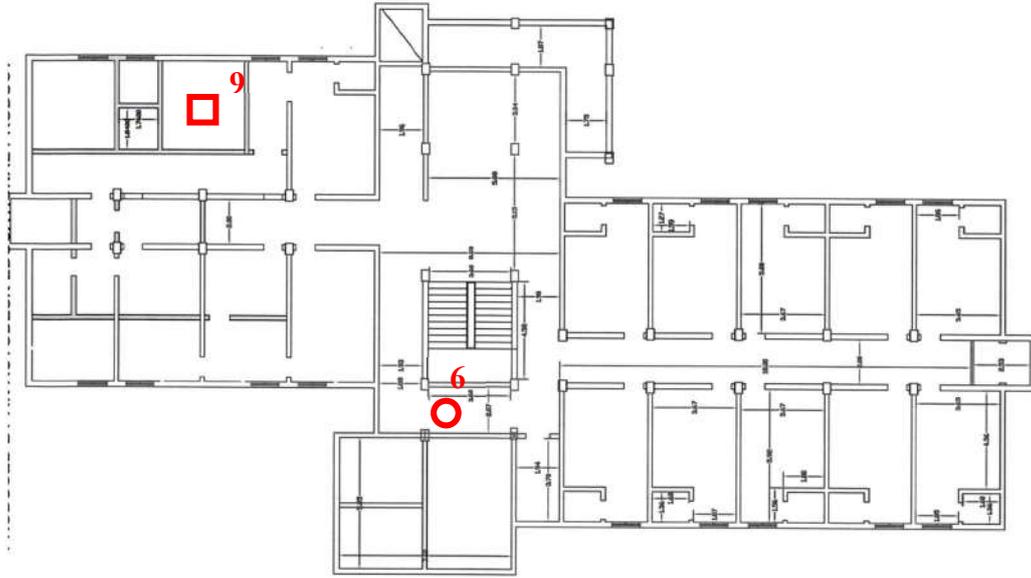
لمعرفة مدى تركيز وتغلغل الكلوريد في الخرسانة.



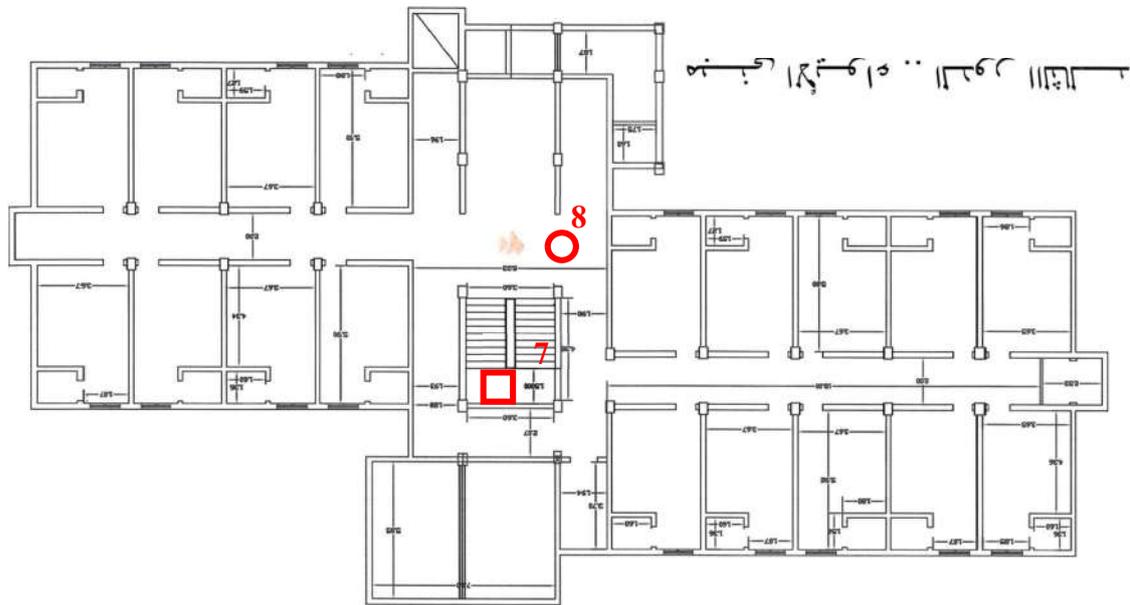
شكل (2): أماكن العينات التي اخذت في الدور الأرضي



شكل (3): أماكن العينات التي اخذت في الدور الأول



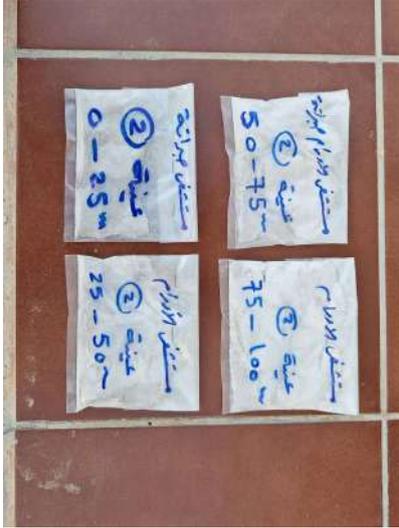
شكل (4) أماكن العينات التي اخذت في الدور الثاني



شكل (5) أماكن العينات التي اخذت في الدور الثالث

تم أخذ العينات من العناصر الإنشائية وفق المواصفة ASTM C1218 [5] وجمع عينات المسحوق الجاف من الخرسانة من أربعة أعماق 0-25 و 25-50 و 50-75 و 75-100 ملم من سطح الخرسانة، وكانت عينات

المسحوق من كل حفرة مجتمعة لتوفير ما يقرب من 15 جرام الى 20 جرام من عينات المسحوق لكل عمق كما هو موضح في الشكل (6) ويتم تخزينها في كيس بلاستيكي ذاتي الغلق ويتم تصنيفها وفقاً لذلك، وتم إخضاع العينات لتحليل الكلوريد في المعمل وفق المواصفة [6] BS 1881-Part 124.



شكل (4-6): جمع المسحوق الخرساني ووضعه في أكياس خاصة



شكل (3-6): أخذ العينة رقم 2 من عمود في الدور الأول



شكل (6-6): جمع المسحوق الخرساني ووضعه في أكياس خاصة لإجراء الاختبار المعمل



شكل (5-6): أخذ العينة رقم 7 من السقف في الدور الثالث

شكل (6) أخذ العينات من العناصر الإنشائية للمبنى

## 4 الفحص الظاهري

يساعد الفحص الظاهري على معرفة مدى تدهور الهيكل الخرساني وذلك من خلال المؤشرات التي قد تظهر من تحلل مواد البناء في الهيكل الخرساني، وظهور شروخ وتشققات مختلفة الأشكال، واشتمل الفحص الظاهري على العناصر الإنشائية المكونة للمبنى موضوع الدراسة من البلاطات، الأعمدة، الكمرات، وغير شاملا الأساسات، ومن خلال الفحص الميداني أتضح وصول حديد التسليح إلى درجة متقدمة من الصدأ نتيجة لتعرضه للمؤثرات البيئية والمتمثلة في اختراق الرطوبة والأملاح الضارة للخرسانة ووصولها إلى حديد التسليح وبالتالي تدهور الخرسانة وفيما يلي أشكال هذا التدهور والعوامل المساعدة على حدوثه:

1.4 من خلال المشاهدة لوحظ عدم توفر سمك الغطاء الخرساني الكافي لحماية حديد التسليح في معظم العناصر الإنشائية وخاصة الأسقف حيث وصل الى اقل من 1سم وفي الأعمدة الخارجية المختبرة قد تراوح سمك الغطاء الخرساني للحديد الرئيسي من 1سم الى 2.5 سم ووفق الكود الأمريكي لمثل هذه المباني القريبة من البحر يكون الغطاء الخرساني 4 سم لأقطار حديد التسليح اقل من 20 ملم و5 سم لأقطار حديد التسليح من 20 ملم الى 50 ملم [7] وهذا مما نتج عنه تعرض حديد التسليح للبيئة مليئة بأملاح الكلوريد والرطوبة وبالتالي سقوط وانسلاخ الغطاء الخرساني بشكل كبير والأشكال رقم (7) ، (8) توضح ذلك.



شكل (8): سمك الغطاء الخرساني من 1سم الى 2.5سم للأعمدة



شكل (7): سمك الغطاء الخرساني اقل من 1سم في الاسقف

2.4 حدوث تآكل بحديد التسليح بالأعمدة الخارجية من الواجهة الشمالية للمبنى بحيث أدى هذا التآكل الي حدوث انفصال في بعض الأماكن للغطاء الخرساني وسقوطه، مع انتشار لتآكل حديد التسليح ليشمل كل الأدوار لبعض الأعمدة كما هو موضح في الشكل (8)، (9)، (10)، و (11).



شكل (9): تدهور شديد لكل الأعمدة للواجهة الشمالية المقابلة للبحر



شكل (8): تدهور شديد لكل الأعمدة للواجهة الشمالية المقابلة للبحر



شكل (11): انتشار لتآكل حديد التسليح لنفس العمود للدور الثالث



شكل (10): تآكل حديد التسليح لعمود في الدور الأرضي مع غطاء خرساني يصل الى 1.5سم للحديد الرئيسي وللكانات اقل من 1 سم

3.4 كما يوجد انتشار لتآكل حديد التسليح للسقف وخاصة الدور الثالث كما هو موضح في الشكل (12) والشكل (13)



شكل (13): سقوط الغطاء الخرساني للسقف بالدور الثالث نتيجة صدأ حديد التسليح



شكل (12): تآكل حديد التسليح وسقوط الغطاء الخرساني للسقف بالدور الثاني

4.4 تعرض اسفل الأعمدة نتيجة لوجود مياه راكدة على الأرضية والتي بدورها تؤدي إلى تآكل حديد التسليح الشكل رقم (10) ، ويوضح الشكل رقم (11) تأثير مياه الصرف الصحي على الأعمدة القريبة من دورات المياه.



شكل (15): سقوط الغطاء الخرساني للسقف بالدور الثالث نتيجة صدأ حديد التسليح



شكل (14): تآكل حديد التسليح وانفصال الغطاء الخرساني (الذي يقل عن 1 سم)

## النتائج والمناقشة

وبعد استخراج مسحوق الخرسانة، تم إجراء الاختبارات معملياً وفقاً للمواصفة BS 1881-Part 124 [6] وذلك للتحقق من مدى توغل الكلوريد فقد تم الحصول على النتائج المدرجة بالجدول (1).

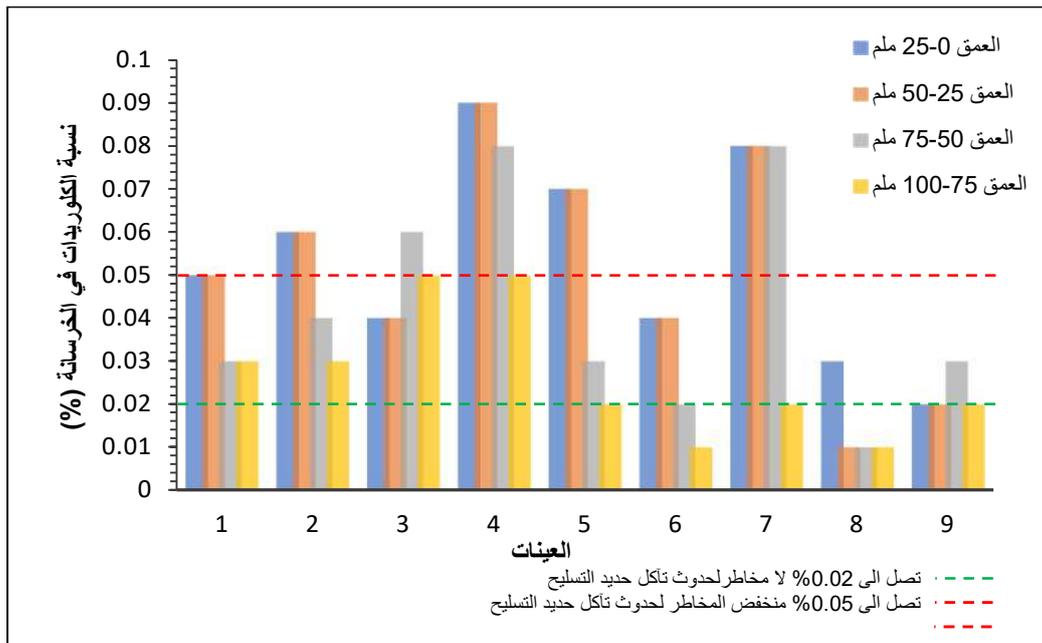
جدول (1) التحليل الكيميائي لتحديد توغل أيونات الكلوريد بالعناصر الخرسانية

رقم الجسة	مكان العينة	نوع العنصر	رقم العينة	العمق (mm)	الكلوريدات كنسبة من وزن الخرسانة (%)	تصنيف مخاطر حدوث تآكل حديد التسليح [8]
1	الدور الأول - الواجهة الشمالية	عمود	1-1	25-0	0.05	متوسط
			2-1	50-25	0.05	متوسط
			3-1	75-50	0.03	منخفض
			4-1	100-75	0.03	منخفض
2	الدور الأول - الواجهة الشمالية	عمود	1-2	25-0	0.06	متوسط
			2-2	50-25	0.06	متوسط
			3-2	75-50	0.04	منخفض
			4-2	100-75	0.03	منخفض
3	الدور الأرضي - الواجهة الشمالية	عمود	1-3	25-0	0.01	لا مخاطر
			2-3	50-25	0.04	منخفض
			3-3	75-50	0.06	متوسط
			4-3	100-75	0.05	منخفض
4	الدور الأرضي - الواجهة الجنوبية	عمود	1-4	25-0	0.08	متوسط
			2-4	50-25	0.09	متوسط
			3-4	75-50	0.08	متوسط
			4-4	100-75	0.05	منخفض
5	الدور الأرضي - صالة المدخل	عمود	1-5	25-0	0.03	منخفض
			2-5	50-25	0.07	متوسط
			3-5	75-50	0.03	منخفض
			4-5	100-75	0.02	لا مخاطر
6	راحة السلم بين الدور الثاني والثالث	سقف	1-6	25-0	0.03	منخفض
			2-6	50-25	0.04	منخفض
			3-6	75-50	0.02	لا مخاطر
			4-6	100-75	0.01	لا مخاطر
7	الدور الثالث	سقف	1-7	25-0	0.02	لا مخاطر
			2-7	50-25	0.08	متوسط
			3-7	75-50	0.08	متوسط
			4-7	100-75	0.02	لا مخاطر
	السطح	عمود	1-8	25-0	0.03	منخفض

رقم الجسة	مكان العينة	نوع العنصر	رقم العينة	العمق (mm)	الكلوريدات كنسبة من وزن الخرسانة (%)	تصنيف مخاطر حدوث تآكل حديد التسليح [8]
8			2-8	50-25	0.01	لا مخاطر
			3-8	75-50	0.01	لا مخاطر
			4-8	100-75	0.01	لا مخاطر
9	الدور الثاني - حجرة إيواء النساء	سقف	1-9	25-0	0.01	لا مخاطر
			2-9	50-25	0.02	لا مخاطر
			3-9	75-50	0.03	منخفض
			4-9	100-75	0.02	لا مخاطر

من خلال النتائج المتحصلة، وجود ارتفاع نسبي في تغلغل الكلوريد في العناصر الإنشائية المختلفة كما هو موضح في الشكل (16)، فقد كان تغلغل الكلوريد من الصفر الى عمق 50 ملم من السطح في كل العينات وأن تغلغل الكلوريدات في العينة 4 والعينة 7 هي أقرب الى 0.1 وهي تعتبر أقرب الى مستوى عالي المخاطر لحدوث تآكل حديد التسليح [8]

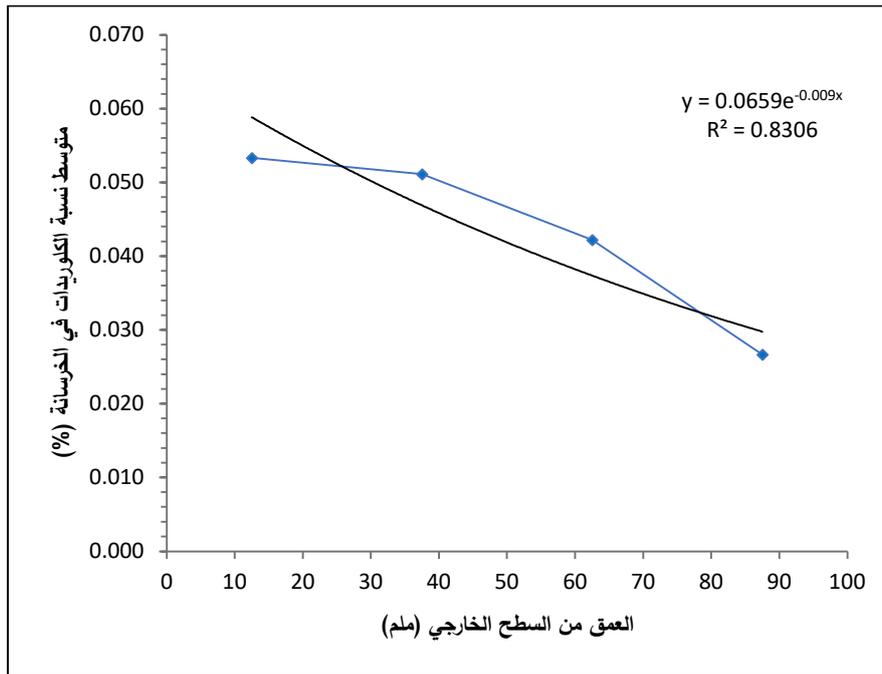
ونجد أن كل من العينات ارقام 3، 4، و7 تغلغل الكلوريد فيها تجاوز 50ملم من سطح الخرسانة وهذا التغلغل تجاوز الغطاء الخرساني وموقع حديد التسليح الرئيسي وهذا يدل على مدى انتشار الأملاح في الخرسانة وكما يجعل صعوبة في أعمال المعالجات من حيث إزالة الخرسانة المحتوية على الكلوريد مما يضعف العنصر الإنشائي وبالتالي يجب دعم العناصر الإنشائية المجاورة للعنصر المراد معالجته للتقليل من الإجهادات وربما يتم إزالة العنصر المتدهور جزئياً او كلياً مع توفير الدعامات اللازمة لذلك، و أقل نسبة تغلغل للكلوريدات كانت في العينة رقم 8 وقد اخذت من عمود لخرسانة السلام أي بعد الدور الثالث، وهذا يدل على أن تركيز الرذاذ البحري الحامل للأملاح للأدوار السفلية أعلى من الأدوار العليا.



شكل (16) عمق تغلغل الكلوريد في العينات المختبرة للعناصر الإنشائية

ويوضح الشكل (17) متوسط نسبة الكلوريد من مسحوق الخرسانة المستخرج من عناصر مختلفة والمسافة من سطح العنصر ويلاحظ بأن نسبة تغلغل الكلوريد تتناقص بعد مسافة 45-50 ملم من سطح الخرسانة وتتزايد في النقصان لتصل الى 0.1 %، ويمكن رسم منحنى المعايرة واستنباط العلاقة بين متوسط الكلوريد وعمق التغلغل من سطح العناصر الخرسانية حسب المعادلة رقم (1) وهي:

$$(1) \quad \text{نسبة الكلوريد} = (\text{عمق التغلغل})^{-0.009} \times 0.0659$$



شكل (17) متوسط نسبة الكلوريد من وزن الخرسانة الى عمق التغلغل من سطح الخرسانة

ويمكن تبسيطها الى علاقة خطية وفق المعادلة رقم (2) التالية:

$$(2) \quad \text{نسبة الكلوريدات} = -0.0004 * (\text{عمق التغلغل}) + 0.0611$$

وبشكل عام فإن تغلغل الكلوريد تجاوز الغطاء الخرساني ووصل الى ابعد من موقع حديد التسليح الرئيسي مما سبب في تأكله بدرجة عالية وتدهور الخرسانة وأدي لسقوط أجزاء كبيرة من الغطاء الخرساني للعناصر الإنشائية نتيجة للعوامل الجوية بالإضافة الى تسرب مياه الإمداد المائي والصرف الصحي لتلك العناصر الإنشائية.

## 6 الاستنتاجات

من خلال نتائج الاختبارات الحقلية والمعملية والفحص الظاهري لمبني الإيواء بمعهد الأورام بصبراتة تبين تدهور الخرسانة لمعظم العناصر الإنشائية ويمكن سردها على النحو التالي:

- 1.6 إن عدم توفر سمك الغطاء الخرساني الكافي لحماية حديد التسليح في معظم العناصر الإنشائية نتيجة عدم التقيد بما توصى به المواصفات ذات العلاقة وفي مثل هذه البيئة البحرية بل وينعدم في بعض الأماكن ساعد على تآكل قضبان حديد التسليح بوصول الرطوبة والأكسجين إلى تلك القضبان.
- 2.6 تآكل حديد التسليح ساهم في تدهور الخرسانة في معظم العناصر الإنشائية حيث نجد انفصال وسقوط للغطاء الخرساني وظهور شروخ مستقيمة ومتعامدة للأسقف، وشروخ رأسية عند جوانب لبعض الأعمدة عند موضع أسياخ التسليح الراسية على جوانب الأعمدة، وشروخ أفقية عند إطراف بعض الكمرات بجوار صلب التسليح الرئيسي.
- 3.6 يظهر بشكل واضح ارتفاع نسبة أملاح الكلوريد وتقترب إلى 0.1% في بعض العناصر وهي تزيد من مخاطر تآكل حديد التسليح.
- 4.6 انتشار وبشكل كبير لتآكل حديد التسليح في معظم العناصر الإنشائية للمبنى التي استهدفت بالدراسة نتيجة لاختراق الكلوريد للخرسانة إلى عمق 75 ملم من سطح الخرسانة.
- 5.6 إن إهمال الصيانة الدورية أدى إلى تدهور الخرسانة بدرجة كبيرة مما ترتب عليه صعوبة تنفيذ العلاج، وارتفاع تكلفته وأحيانا يتم اللجوء إلى إزالة بعض العناصر الإنشائية وإعادة تنفيذها.

## 7 التوصيات

- 1.7 الإسراع في تنفيذ العلاج المناسب للمبنى بسبب تآكل حديد التسليح فور الانتهاء من أعمال التشخيص، حتى لا يحدث تفاقم للمشكلة ويترتب عنها صعوبة تنفيذ العلاج، وارتفاع تكلفته.
- 2.7 إزالة الخرسانة حول قضبان الحديد المتآكلة وتنفيذ خرسانة عديمة النفاذية لمنع توغل الكلوريد من المصادر الخارجية ويتم ذلك بإتباع برنامج لتأمين وضبط الجودة في جميع مراحل تنفيذ برنامج المعالجة وعدم التهاون في الصيانة الدورية.
- 3.7 إجراء فحوصات دورية للمبنى، وإجراء العلاج المناسب والسريع في حالة حدوث أي ضرر والابتعاد على الصيانة العشوائية.
- 4.7 اختيار المقاول المتخصص ذات الخبرة الجيدة في أعمال الصيانة، وتحت إشراف مكثف ودقيق من قبل مهندسين متخصصين لضمان جودة تنفيذ العلاج.

## 8 شكر وتقدير

يود المؤلف أن يتقدم بخالص الشكر إلى شركة الأبعاد الأربعة (4D) للاستشارات الهندسية للدعم المالي التي قدمته لإجراء الاختبارات الحقلية والمعملية.

## المراجع

- [1] علي منصور وعلي مسعود ومحمود اسماعيل وعصام بدر, "ظاهرة تآكل حديد التسليح في المنشآت الخرسانية", المؤتمر الوطني الخامس لمواد البناء والهندسة الإنشائية, اكااديمية الدراسات العليا-طرابلس, 2010, pp. 330-340.
- [2] الشيباني الميلاد والازهري السنوسي, "معالجة للتصدعات بمؤسسة علمية بطرابلس", المؤتمر الوطني الثالث لمواد البناء والهندسة الإنشائية. 2006, pp. 336-344.
- [3] Poulsen Ervin, "Chloride Profiles, Analysis and Interpretation of Observations," 1995.
- [4] J. Lahdensivu & S. Varjonen, "Assessment of reinforcement corrosion in concrete façades".
- [5] "ASTM C1218/C1218M-99, Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete," 1999.
- [6] "BS 1881-Part 124-88 Chloride & Sulphate in cement".
- [7] ACI Committee 318., Building code requirements for structural concrete (ACI 318M-14): an ACI Standard. American Concrete Institute, 2015.
- [8] "Concrete Society Technical Report No. 26 - Repair of concrete damaged by reinforcement corrosion," 1985.

## إيجاد علاقة بين نظام فحص وتقييم سطح الرصف (PASER) ومؤشر الخشونة الدولي (IRI)

م. معمر ونيس عمر<sup>1</sup>، أ.د. محمد عمران امبارك السكي<sup>2</sup>

1 طالب دراسات عليا (قسم الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة طرابلس)

2 أستاذ الهندسة المدنية - كلية الهندسة - جامعة طرابلس

mwo12esh10@gmail.co

### 1. الملخص

يُعد فحص وتقييم حالة الرصف من المكونات الرئيسية في نظام إدارة الرصف (PMS)، وذلك لتوفير المعلومات اللازمة عن حالة الرصف للمساعدة في اتخاذ قرارات تتعلق بالصيانة والحفاظ على الرصف. هناك أنظمة وطرق عديدة لتقييم حالة الرصف مستخدمة من قبل الإدارات والأجهزة المسؤولة عن الطرق، تختلف في طرق جمع البيانات الحقلية وكيفية معالجتها واستنتاج مؤشرات خاصة بتقويم حالة الرصف، تستخدم في عمليات تخطيط وتصميم الصيانة.

تم اختيار نظامين من أنظمة تقييم حالة الرصف هما: فحص وتقييم سطح الرصف (PASER) الذي تستخدمه إدارة النقل في ولاية ووسكنسن الأمريكية (WIDOT) ومؤشر الخشونة الدولي (IRI) المستخدم من قبل الوكالة اليابانية للتعاون الدولي (JICA) في جمهورية طاجكستان. الهدف من الورقة دراسة وإيجاد علاقة بينهما يمكن استخدامها للتحويل بين النظامين والاستفادة من التقنيات والبيانات التي يتضمنها كل نظام في أعمال التقييم لحالة الرصف في ليبيا. لتحقيق هذا الهدف تم تطبيق النظامين المذكورين على قطاعات من الرصف الاسفلتي خارج مدينة بني وليد بطول إجمالي للقطاعات 19.9 كم. تمت عملية جمع البيانات بأسلوب الفحص البصري وجمع صور لأضرار الرصف من القطاعات المختارة، كما تم استخدام برنامج الإسكل وإتباع المنهج الوصفي التحليلي للوصول الى نتائج علمية موثوقة، مما أمكن انتاج علاقة رياضية للربط بين النظامين، ( $IRI = -1.21PASER + 10.11$ )، مع قيمة ( $R^2 = 0.79$ )، وارتباط خطي ( $r = -0.89$ )، وتم تحقيق ذلك باستخدام بيانات حقلية، ويمكن الاستفادة منها في أعمال فحص وتقييم حالة الرصف الاسفلتي.

كلمات مفتاحية: حالة الرصف، إدارة الرصف، PASER، مؤشر الخشونة الدولي IRI.

### 2. المقدمة

تشكل الأرصفة جزء كبير من نظام البنية التحتية في الدولة والذي يعتبر أدائها السليم أمراً ضرورياً للتنمية أو التطوير، تتدهور الأرصفة بمرور الوقت، لذلك توجد حاجة لإيجاد طرق للحفاظ على الأرصفة وضمان أدائها على النحو المطلوب، نتج عن هذه الحاجة تطوير أنشطة الصيانة التي تقوم بها الإدارات والأجهزة المسؤولة عن النقل [2]. يتم ذلك بتقييم الرصف لتحديد الحالة الوظيفية والانشائية لقطاع الطريق، حيث تتعلق الحالة الوظيفية بجودة

القيادة (جودة الحركة) والسلامة على الطريق، في حين تتعلق الحالة الإنشائية بقدرة الرصف على نقل الأحمال وسمك الطبقات وكذلك خصائص المواد [7].

مسح وتقييم حالة الرصف من المكونات الرئيسية في نظام إدارة الرصف Pavement Management System (PMS)، حيث يمكن من خلالهما المراقبة والقياس والتحليل والتقييم لبيانات الحالة وأداء الرصف، وهذا يعتمد على أضرار الرصف، التي تعتبر علامة رئيسية تعبر عن حالة الرصف وعادة ما تظهر في صورة شقوق ورقع وحفر وتشوهات وعيوب على سطح الرصف [2] [10]. الشكل (1) يوضح دورة صيانة الطرق، حيث الصيانة المنتظمة ويفحص منتظم مع الإصلاح الوقائي تكون فعالة في تعزيز دورة حياة الرصف. ومن خلال مسح وتقييم حالة الرصف يمكن إدارة منشأ الرصف والحفاظ عليه بطريقة فعالة [5].



الشكل (1) دورة صيانة الطريق.

## 2.1 الدراسات السابقة

نشرت دراسة حول تطوير نموذج تنبؤ لتنفيذ استراتيجيات صيانة وإعادة تأهيل الطرق على أساس أنظمة إدارة الرصف، حيث تركزت على تأثير أضرار الرصف لحساب مؤشر حالة الرصف، أجريت النمذجة للتنبؤ بمؤشر حالة الرصف باستخدام الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression MLR)، والشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Networks ANN) ووجد أن نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية أكثر دقة، وتتمتع بقدرة أفضل للتنبؤ بالنتائج مقارنةً بنماذج الانحدار الخطي المتعدد [11].

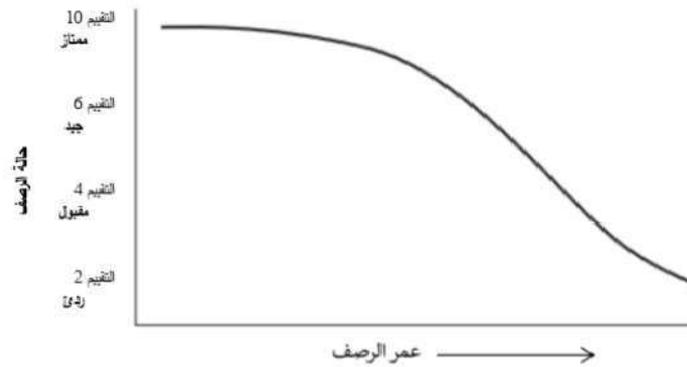
نشرت دراسة في يوليو 2019 مقارنة بين مؤشرات أضرار الرصف، نظام فحص وتقييم سطح الرصف Pavement Surface Evaluation and Rating (PASER) ومؤشر حالة الرصف Pavement Condition Index (PCI) كان الغرض من هذه الدراسة مقارنة نظامين مختلفين من أنظمة تصنيف الرصف، أشار تحليل النتائج على مستوى الشبكة الى عدم وجود ارتباط بين النظامين للقطاعات الفردية، بعد البحث بدقة في البيانات على مستوى الشبكة حَقَّق كلا النظامين نتائج مماثلة للأرصفة بين الحالة السيئة والمقبولة. وأوصت الدراسة أن أفضل طريقة لمقارنة أنظمة تقييم الرصف هي فحص أو دراسة الأنظمة على مستوى المشروع [3].

نشرت دراسة عام 2017 لإيجاد علاقة بين مؤشّر الخدمة الحالي للرصف Present Serviceability Index (PSI) ومؤشّر الخشونة الدولي، من أجل تقليل التكاليف، والجهود المبذولة في جمع وتحليل ومعالجة البيانات، وتقييم حالة أضرار الرصف. كانت نتائج العلاقة بناءً على بيانات تجريبية تم جمعها بإستخدام (ARRB) على عدد من الطرق السريعة في فيتنام، أظهرت النتائج وجود علاقة بين مؤشّر الخدمة الحالي للرصف ومؤشّر الخشونة الدولي مع قيمة  $R^2$  تتراوح من 0.85 – 0.94، بدقة 95% [1].

ديسمبر 2014 نشرت دراسة لتقييم نظام تقييم الرصف في ولاية نيفادا الأمريكية، كان هدفها تطوير وتحسين نظام مؤشر تقييم الرصف Pavement Rating Index (PRI) لتقييم حالة الرصف الأسفلتي في ولاية نيفادا والنظر في إمكانية التحويل إلى مؤشر حالة الرصف. لوحظ أن مؤشر حالة الرصف يمثل وبشكل أفضل حالة الرصف الحالية لاحتوائه على تعريفات تفصيلية لجميع أنواع أضرار الرصف، مما أدى إلى مزيد من الدقة في مهام صيانة الرصف. كانت أهم نتائج الدراسة تحويل ناجح لأضرار الرصف الأسفلتي من مؤشر تقييم الرصف إلى مؤشر حالة الرصف [8].

## 2.2. فحص وتقييم سطح الرصف (PASER)

هدف هذا النظام مساعدة المسؤولين والمهندسين لفهم وتقييم الرصف الأسفلتي، فهو يصف أنواع الاضرار ويوفر نظام بسيط لتقييم حالة الرصف بصرياً، تستخدمه إدارة النقل في ولاية ووسكنسن الأمريكية نظراً للتقييم البصري لحالة الرصف من خلال فهم أضرار السطح بدون رفع قياسات فعلية من سطح الرصف، حيث تستخدم مقياس يبدأ من 1 ويعبر عن الفشل الكامل لسطح الرصف الي 10 والذي يعبر عن الحالة الممتازة لسطح الرصف. الشكل رقم (2) يوضح حالة منشئ الرصف بدون صيانة [9].



الشكل (2) منحنى حالة الرصف بدون صيانة.

يستخدم نظام PASER الفحص البصري لأضرار الرصف مع نماذج الصور في تقييم حالة سطح الرصف، وتحديد الأنواع المختلفة من أضرار الرصف وفهم سبب الحالة الحالية للرصف، ذلك لأهميته في اختيار تقنية صيانة الرصف والحفاظ عليه [9]. توجد خمس فئات رئيسية من أضرار سطح الرصف الأسفلتي الشائعة [6]:

#### ➤ الشقوق

الشقوق الطولية، والعرضية، والانعكاسية والشبكية وشقوق الحواف وشقوق الكلال (التمساحية).

#### ➤ الرقع والحفر

#### ➤ العيوب السطحية

نزف الإسفلت والتطاير والصفل أو بري الركام.

#### ➤ التشوهات السطحية

التخدد والزحف أو الإزاحة.

#### ➤ أضرار متنوعة

هبوط الأكتاف والضخ ونزيف الماء.

### 2.3. مؤشر الخشونة الدولي (IRI)

في عام 1986 قام البنك الدولي بتطوير مؤشر الخشونة الدولي بناءً على ورقة علمية التي نشرها (المبادئ التوجيهية لإجراء ومعايرة قياسات خشونة الطرق) وقد تم تطويره باستخدام تحول رياضي من سطح الرصف الى وصف خشونة السطح من أسباب اهتزاز المركبات [12].

تم استخدام مؤشر الخشونة الدولي من قبل مهندسين الطرق في جميع أنحاء العالم كمييار لقياس خشونة الطريق، من خلال قياس الإرتفاع والانخفاض لمسار العجلات على طول الطريق واستنتاج إنحرافات سطح الرصف التي تؤثر على حركة المركبات [4]، حيث يظهر مؤشر الخشونة الدولي راحة القيادة [5] كما هو موضح في الشكل

(3)، ويقاس هذا المؤشر بالبوصة على ميل أو متر على الكيلو متر، فإذا كان الرصف على نحو ناعم تماما فتكون قيمة مؤشر الخشونة الدولي تساوي صفر [4].

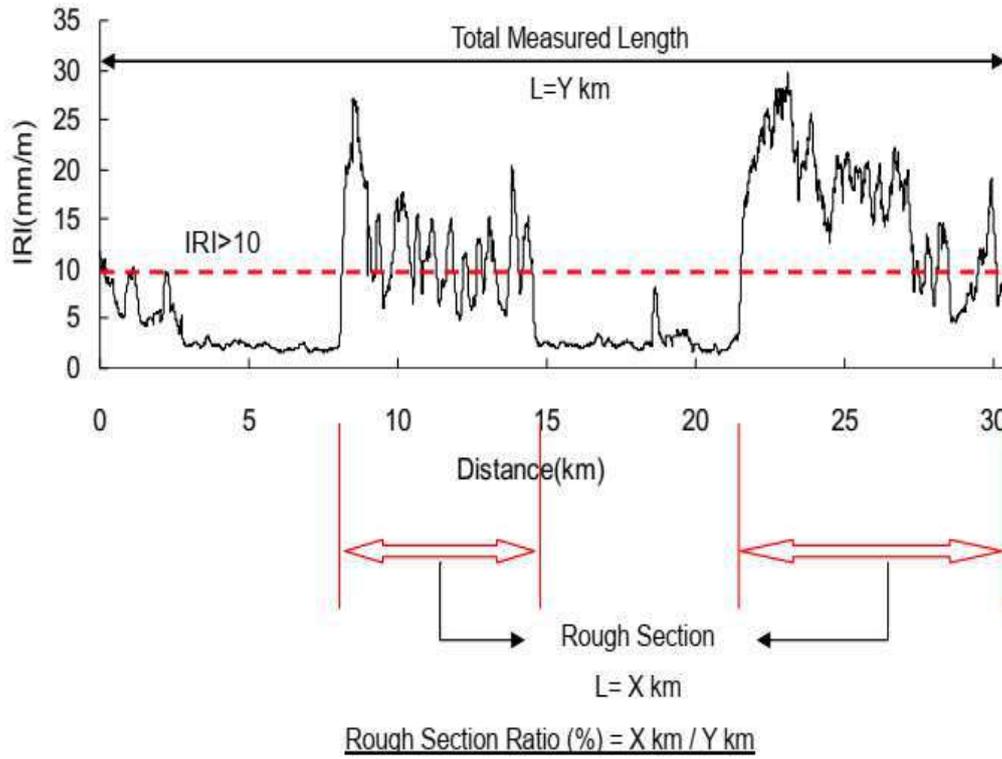


الشكل (3) شرح مؤشر الخشونة الدولي.

قامت الوكالة اليابانية للتعاون الدولي في جمهورية طاجيكستان بعمل دليل إرشادي (دليل فحص الرصف) لفحص وتقييم حالة الرصف حيث يقدم منهج لفحص الرصف باستخدام أدوات محددة تسمى النظام الذكي للاستجابة الديناميكية (DRIMS) وكذلك الفحص البصري من خلال نماذج الصور ذات العلاقة بين حالة الرصف ومؤشر الخشونة الدولي، واستخدمت مقياس يبدأ من الصفر للتعبير عن خشونة الرصف إلى ما يزيد عن 10، الجدول (1) يوضح قيمة مؤشر الخشونة الدولي مع حالة الرصف. وتعرف خشونة القطاع على أنها الطول الذي مؤشر خشونته يساوي 10 أو أكثر [5].

الجدول (1) حالة الرصف ومؤشر الخشونة الدولي.

مؤشر الخشونة الدولي	الحالة
3 - 0	جيد جداً
5 - 3	جيد
7 - 5	معتدل
10 - 7	سيء
أكثر من 10	سيء جداً

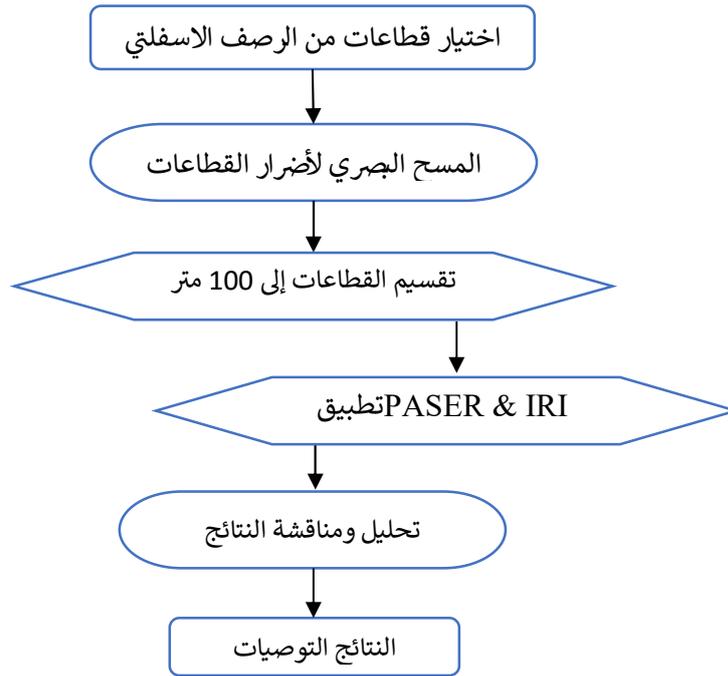


الشكل (4) القطاع الخشن.

الهدف من هذا البحث هو الحصول على علاقة بين نظامين من أنظمة تقييم الرصف وهما فحص وتقييم سطح الرصف (PASER) ومؤشر الخشونة الدولي (IRI) للتحويل بينهما والاستفادة من التقنيات والبيانات التي يتضمنها كل نظام في أعمال التقييم لحالة الرصف في ليبيا.

### 3. منهج البحث

تم جمع بيانات البحث على طرق من الرصف الأسفلتي خارج مدينة بني وليد، تم مسح 4 قطاعات بطول إجمالي 19.9 كيلومتر بأضرار مختلفة، حيث تحوي الورقة على دراسة بين نظامين من أنظمة تقييم الرصف، والعمل على إيجاد علاقة بينهما، بإستخدام الفحص البصري وجمع الصور لأضرار الرصف من القطاعات المختارة، وإستخدام برنامج إكسل (Excel) لوصف وتحليل نتائج التقييم. الشكل (5) يوضح المنهج العملي المتبع.



الشكل (5) منهج البحث.

### 3.1 جمع البيانات والتحليل

تم تقسيم القطاعات الى 100 متر وجمع البيانات ميدانياً باستخدام الفحص البصري وجمع الصور لأضرار الرصف مستخدماً طريقة PASER في تقييم القطاعات، ومؤشر الخشونة الدولي (IRI)، تم تحليل العلاقة بين النظامين باستخدام برنامج إكسل وذلك عن طريق عمل علاقة خطية سالبة بينهما لتعطي قيمة  $(R^2 = 0.79)$ . الشكل (6) يوضح بعض الأضرار تم رفعها ومدى وانتشارها في 100 متر.



(ب). تباعد الشقوق العرضية بمقدار أقل من 3

متر

(أ). إنتشار شقوق الكلال والشقوق الصندوقية



(ج). الشقوق العرضية مع شقوق الكلال والحفر  
متباعدة  
د. شقوق طولية وعرضية بتباعد 3 متر

الشكل (6) مسح عينات لحالة قطاع من الرصف الإسفلتي

#### 4. النتائج والمناقشة

##### 4.1. تحليل نتائج تقييم القطاعات بواسطة PASER

تم الحصول على نتائج تقييم PASER عن طريق الفحص البصري لأضرار الرصف المرئية ومدى إنتشارها والتباعد بين بعضها لكل 100 متر.

الجدول (2) متوسط حالة القطاعات بواسطة نظام PASER

اسم الطريق	طول القطاع (m)	متوسط قيم PASER	حالة القطاع
إليس	5700	4.8	مقبول
سوف الجين	5800	3.8	رديء
مصنع 51	6000	4.2	مقبول
وادي دينار	2400	5.3	مقبول

##### 4.2. تحليل نتائج تقييم القطاعات بواسطة IRI

تم الحصول على نتائج تقييم IRI عن طريق جمع صور عامّة وأخرى تفصيلية لأضرار الرصف لكل 100 متر، ومقارنتها بنماذج مؤشر الخشونة الدولي (JICA).

الجدول (3) متوسط حالة القطاعات بواسطة IRI

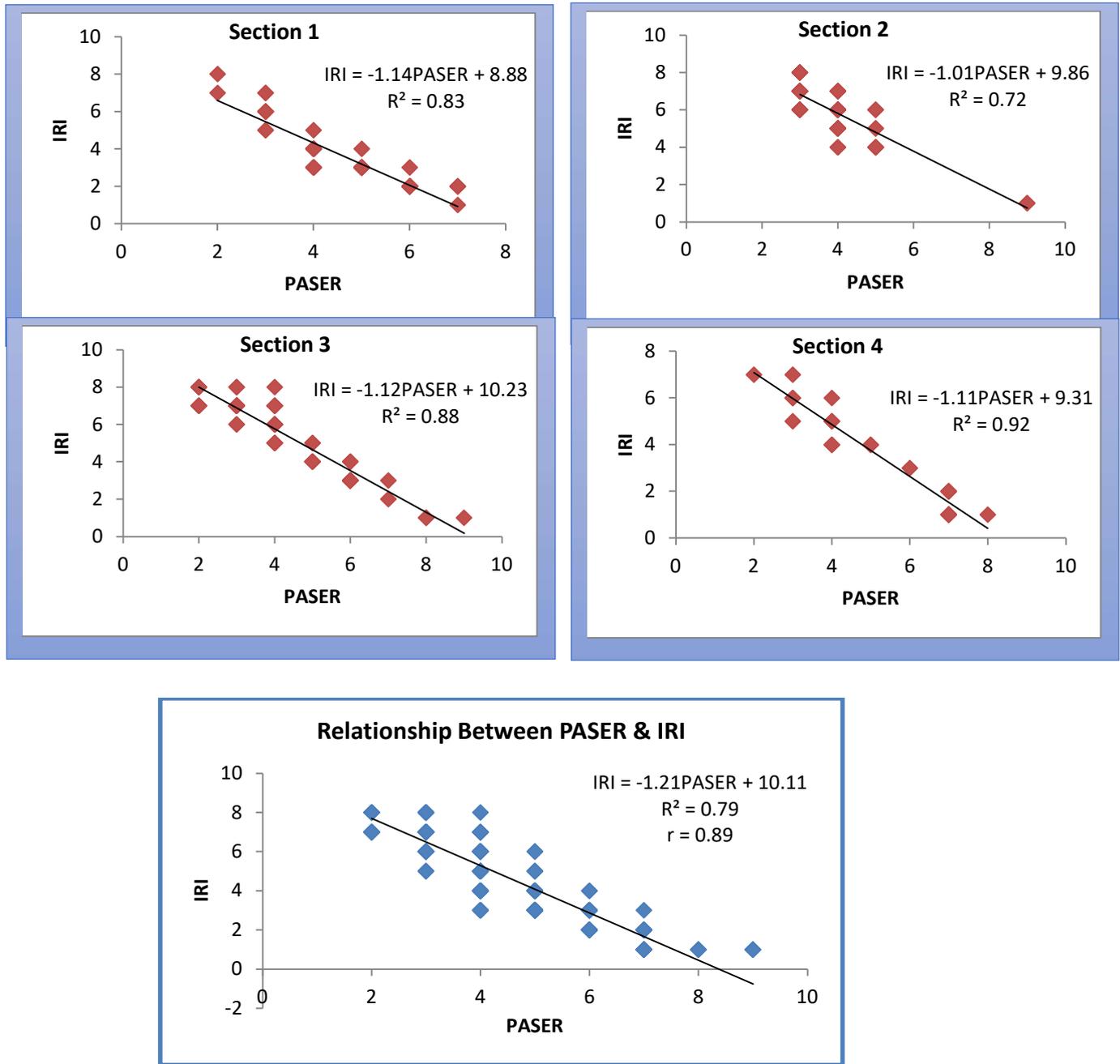
اسم الطريق	طول القطاع (m)	متوسط قيم IRI	حالة القطاع
إليس	5700	3.5	جيد
سوف الجين	5800	6	ردئ
مصنع 51	6000	5.5	مقبول
وادي دينار	2400	3.3	ردئ

## 4.3. تحليل العلاقة بين PASER و IRI

الجدول (4) العلاقة بين حالة القطاعات بواسطة PASER و IRI

اسم الطريق	متوسط قيم PASER	متوسط قيم IRI	نوع الضرر المنتشر
إليس	4.8	3.5	شقوق الكلال، والشقوق العرضية، والصندوقية، والحواف.
سوف الجين	3.8	6	الشقوق، والعرضية، والصندوقية، والحفر.
مصنع 51	4.2	5.5	الشقوق الصندوقية، والكلال، الرقع.
وادي دينار	5.3	3.3	شقوق الكلال، نزع الإسفلت، صقل أو بري الركाम.

هناك عدة نماذج تبين العلاقة بين PASER و IRI، وكلها ستعطي قيمة معامل التفسير، إن أهم قيمة للمعادلة الخطية موضحة في الشكل (7).



الشكل (7) العلاقة بين PASER و IRI

ملخص جدول تحليل التباين لجميع القطاعات

الجدول (5) تحليل التباين (ANOVA)

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
RASER	199	878	4.412	2.304
IRI	199	953	4.789	4.248

## ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	14.133	1	14.133	4.314	0.038	3.865
Within Groups	1297.347	396	3.276			
Total	1311.480	397				

## 5. النتائج والتوصيات

## 5.1. النتائج

1. تم الحصول على نتيجة وحالة القطاعات باستخدام نظام PASER، كان متوسط التقييم يتراوح من 4 - 5 بتقدير حالة القطاعات بشكل عام على أنها مقبول، وكانت أنواع الأضرار المنتشرة هي شقوق الكلل، والشقوق العرضية، والشقوق الصندوقية، والشقوق الطولية، وشقوق الحواف، والحفر، ونزف الإسفلت، وكذلك صقل أوبري الركام. إلا أن نتيجة التقييم باستخدام مؤشر الخشونة الدولي تتراوح من 3 - 5 وتم تقدير حالة القطاعات على أنها جيد.
2. من خلال الاختلاف في مقياس التقييم، يمكن القول بأن نظام PASER يكون أقرب إلى الحالة الفعلية للقطاعات ويعبر عن حالة الرصف، فهو يصف أنواع الأضرار ويوفر نظام بسيط لتقييم حالة الرصف، على عكس مؤشر الخشونة الدولي المستخدم من قبل الوكالة اليابانية للتعاون الدولي، والذي يقوم بتقدير حالة الرصف بناءً على نماذج الصور التي تم استنتاجها من قياس الارتفاعات والإنخفاضات على سطح الرصف باستخدام نظام مراقبة الإستجابة الديناميكية (DRIMS) والذي يقوم بالقراءة والتسجيل من خلال مسار العجلات فقط.
3. نظام PASER ومؤشر الخشونة الدولي المستخدم من قبل (JICA) وعلى اعتبارهما متغيرين مستقلين، يتضح من الأضرار التي تم رفعها والبيانات التي تم جمعها، أن لهما علاقة خطية سالبة أي كلما زادت قيمة PASER نقصت قيمة IRI.

4. إستناداً على قيمة معامل الارتباط الموضحة في الشكل (7) وكذلك P-value في الجدول 5 فإن العلاقة الخطية بين نظام PASER ومؤشر الخشونة الدولي قوية جداً، ويمكن الإستفادة من استخدام العلاقة الخطية للتنبؤ بمؤشر الخشونة الدولي بمعلومية PASER.

## 5.2. التوصيات

1. إستخدام المزيد من القطاعات والتي تحوي أضرار رصف مختلفة للحصول على علاقة أكثر دقة.
2. إستخدام أنظمة أخرى لتقييم حالة الرصف، لإيجاد العلاقات والارتباط بينها، للحد من التكاليف والجهود المبذولة في تقييم حالة الرصف.

## 6. المراجع

1. Nguyen, L. H. (2017). Research on the Correlation Between International Roughness Index (IRI) and Present Serviceability Index (PSI), Recommendations on Evaluation Rates in Vietnam's Conditions. Vietnam: International Journal of Engineering Research and Technology.
2. Attoh, N., & Adarkwa, O. O. (June 2013). Pavement Condition Surveys Overview of Current Practices. Delaware: Delaware Center for Transportation.
3. Barrette, T. (January 2011). Comparison of PASER and PCI pavement distress indices. Michigan: Michigan Technological University.
4. Holzschuher, C., Scott, S., & Kroodsma, K. (September 2011). Flexible Pavement Smoothness Acceptance Report, International Roughness Index Edition. Florida: FDOT.
5. Japan International Cooperation Agency (JICA). (October 2016). PAVEMENT INSPECTION GUIDELINE. Tajikistan Republic: Tajikistan Ministry of Transport.
6. Miller, J., & Bellinger, W. (May 2014). Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program (Fifth Revised Edition). Virginia: Office of Infrastructure Research and Development Federal Highway Administration.
7. Stevenson, J. (Feb 2021). Pavement Manual. Texas: Taxes Department of Transportation.

8. Suwal, R. (2014). Evaluation of Pavement Rating System for Flexible Pavements in Nevada. Nevada: University of Nevada.
9. T.I.C. (2002). Pavement Surface Evaluation and Rating. Wisconsin : Wisconsin Transportation Information Center.
10. WSP Canada Limited . (March 2020). Pavement Surface Condition Rating Manual. British Columbia: British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure Construction Maintenance Branch.
11. Abdualaziz, A., & Esekbi, M. (n.d.). Development of Pavement Condition Index Assessment Model for Road Pavements in Libya Using Machine Learning. Tripoli : المؤتمر الوطني التاسع لمواد البناء والهندسة الإنشائية .
12. Holzschuher, C., Scott, S., & Kroodsma, K. (September 2011). Flexible Pavement Smoothness Acceptance Report, International Roughness Index Edition. Florida: FDOT.

## مؤشر حالة الرصف لتقييم وإعادة تأهيل الطرق - ورقة استعراضية

اسماعيل قودان نايل<sup>1</sup>، رجاء عبد الغني أعقيل<sup>2</sup>

1. استاذ مساعد، قسم الهندسة المدنية، مدرسة العلوم الهندسية، الأكاديمية الليبية

2. طالبة دراسات عليا، قسم الهندسة المدنية، مدرسة العلوم الهندسية، الأكاديمية الليبية

### ملخص:

إن شبكات الطرق لها تأثير على اقتصاد ونهضة البلدان لذلك تسعى الجهات الحكومية والاقتصادية للحفاظ على الطرق وحمايتها من التدهور والمحافظة أيضا على معايير جودة وسلامة الطرق. ونظرا لتعرض الطرق الى العديد من الاضرار التي تسبب في إنقاص عمرها الافتراضي، لذلك من المهم تقييم حالة الطريق والتنبيه بمستوى التدهور الذي قد يصل اليه مستقبلا. ويمكن الحفاظ على الطريق في صورة مرضية خلال العمر التصميمي له بالصيانة الدورية في وقتها وإذا لم تتم الصيانة أو في حالة تأخرها ستؤدي الي زيادة تدهور الطرق وزيادة تكاليف الصيانة أنها قد تتحول من صيانة وقائية الى إصلاح وإعادة التأهيل. لذلك اجريت العديد من الدراسات لمساعدة متخذي القرار في اختيار المكان والتوقيت المناسب من خلال جمع البيانات عن الاضرار التي تظهر بالرصف مع مرور الوقت وتحويلها من مساحات واطوال واعماق متفرقة الى قيمة واحدة (مؤشر) معبرة عن حالة الرصف. وهناك الكثير من المؤشرات المستخدمة للتقييم تتفاوت في منهجيتها ومن اهمها مؤشر حالة الرصف PCI. وتهدف هذه الدراسة الي استعراض اهم ما جاء في الدراسات السابقة الخاصة بتقييم حالة الرصف باستخدام مؤشر حالة الرصف وذلك لإبقاء الرصف في حالة جيدة ولتجنب التكاليف الباهظة الناتجة عن اهمال الصيانة وتحديد أولويات ونوع وتوقيت الصيانة للطرق واحتياجاتها المستقبلية لتوفير الامن والراحة والسلامة المرورية لمستخدمي الطريق.

كلمات دالة: اضرار الرصف، مؤشر حالة الرصف، مؤشر الخشونة الدولي، الرصف المرن، برنامج ادارة الرصف

### مقدمة

هناك العديد من العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار المعالجة المناسبة للرصف مثل العمر والحالة ومستوى حركة المرور وما إلى ذلك. الرصف الذي تم تشييده بشكل صحيح يحتاج فقط إلى المعالجة باستخدام تقنيات الصيانة الوقائية (تقنيات تم تطويرها لتأجيل ظهور الأضرار) ; وبعد ذلك، مع تقدم عمر الرصف، يصبح مرشحا للصيانة الدورية. (مثل ملء الشقوق، التكرسية الاسفلتية، وما إلى ذلك)، وإعادة التأهيل، وإعادة الإنشاء في نهاية المطاف.

يجب تحديد الخطوة الأولى في اختيار تقنية الصيانة المناسبة بناءً على العمر التشغيلي (الزمن ومستوى حركة المرور) وحالة الرصف الحالي؛ يمكن التعبير عن هذه الحالة من خلال مؤشر حالة الرصف Pavement Condition Index (PCI)، والذي يساعد على وضع استراتيجية لصيانة الطرق. وهي مجموعة من الأعمال

الخاصة للمحافظة على الطريق في صورة تكافئ صورتها عند الإنشاء وإبطاء تدهور حالة الرصف خلال العمر التصميمي لها

يحدث تدهور الطريق نتيجة لتأثرها بالأحمال المرورية المتكررة والتغيرات المناخية والمواد المستخدمة في إنشاء طبقات الرصف وغيرها مما يسبب في ظهور التشوهات والتشققات على سطحها وهي أكثر العيوب ظهوراً وانتشاراً على شبكات الطرق، وعادة تكون بسيطة وتزداد مع تقادم عمر الرصف.

وتجدر الإشارة إلى أن هذه الطريقة لا تهدف إلى حل جوانب السلامة، بل تم تطويرها للحصول على مؤشر للسلامة الإنشائية للرصف والحالة التشغيلية للسطح، وهي القيمة التي تحدد حالة الرصف فيما يتعلق بمعالجته وصيانته وإصلاحه.

### مؤشر حالة الرصف

يجب تقييم أداء الرصف لأنه مكون أساسي في أي نظام لإدارة الرصف ويكون التقييم بشكل دوري وباستخدام إحدى مؤشرات الرصف ومنها PCI وهو طريقة تسمح بتقييم الأرصفة الصلبة والمرنة، ويشكل مؤشراً موضوعياً للسلامة الإنشائية للرصف وظروف تشغيل السطح.

طور هذا المؤشر بواسطة شاهين وخون بهدف تحديد الأولويات وتنظيم صيانة وإعادة تأهيل مهابط المطارات القديمة حيث لوحظ أن أنظمة تقييم المطارات الموجودة تعاني من العديد من أوجه القصور، لأنها تعالج الأنواع المختلفة من الأضرار بنفس الطريقة. [1] تم تطوير هذا المؤشر لتوفير مقياس تجريبي لتقييم حالة مقاطع الرصف بطريقة تحدد شدة وانتشار الأضرار. [2] ووصفت دراسة شاهين وخون لأول مرة تطور PCI في تقرير فني نشره سلاح المهندسين الأمريكي، تتضمن الدراسة العديد من مهندسي الرصف والمساحين الذين قاموا بتقييم الأضرار المحتملة لقطاع الرصف على مقياس من 1- إلى 100. وكما هو موضح بالشكل 15. يتم هذا التقييم لأنواع مختلفة من الأضرار والشدة والانتشار. وتصنف الشدة بثلاث مستويات: قليلة ومتوسطة ومرتفعة، وتم تعيين الحدود بينها بناء على آراء الباحثين. أما قيم الانتشار فيتم تحديدها كنسبة من مساحة سطح مقطع الرصف [1]



شكل 15: تقييم الطريق حسب قيم معامل الرصف

كما يوضح جدول 8 قيم PCI وتقييم ووصف كل حالة بناء على قيم مؤشر حالة الرصف الذي يصف الحالة الإنشائية لجسم الطريق وحالة سطحه.

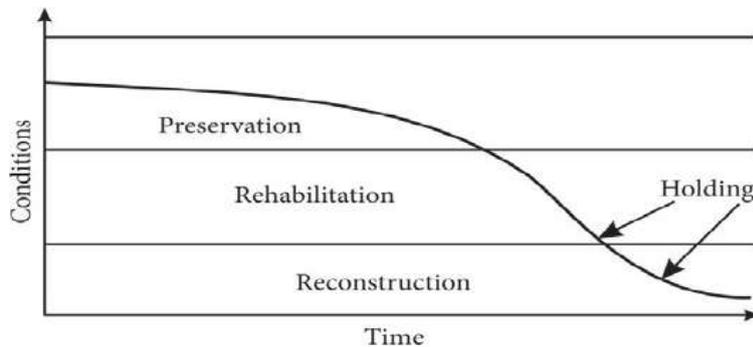
جدول 8: وصف حالة الرصف لكل درجات PCI

الوصف	التقييم	PCI
منشاء الرصف مستقر، لا توجد به تشققات، كما لا توجد بقع أو تشوهات واضحة. هذا التصنيف يخص الطرق الجديدة.	جيد جداً	90-100
هيكل الرصف مستقر، ولكن قد يتعرض للتآكل. السطح والشقوق ذات الشدة الأقل، يصعب عموماً اكتشاف التشققات وربما التشوهات البسيطة.	جيد	70-89
هيكل الرصف مستقر بشكل عام مع وجود عدد قليل من مناطق الضعف الهيكلي الواضح. من السهل اكتشاف التشققات، ويمكن ترقيع الرصف، ولكن ليس بشكل مفرط.	عادي	50-69
يحتوي الطريق على مناطق غير مستقرة تظهر عليها أوجه قصور هيكلية، وأنماط تشققات كبيرة (مثل جلد التماسح) وبقع عديدة وعميقة وتشوهات واضحة للغاية.	سيئ	25-49
تكلفة الحفاظ على حالة الجزء الهيكلي من الرصف تساوي أو تتجاوز تكلفة إعادة بنائه.	سيء جداً	0-24

يمكن إضافة حالتين أخريين إلى هذا التصنيف: ممتاز وفشل، والذي يتوافق مع PCI بقيمة 100 و0، على التوالي.

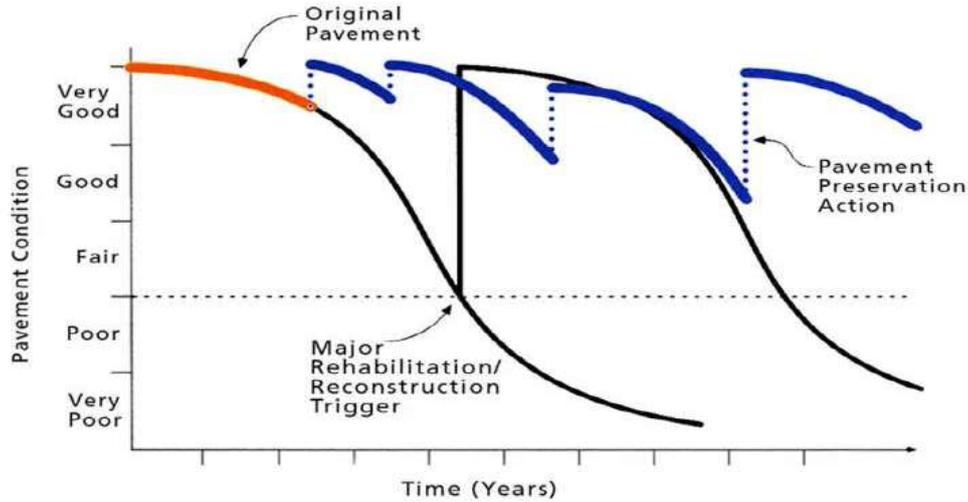
تحديد تقنيات الصيانة المناسبة لكل مستوى من التدهور المعبر عنه بناءً على PCI.

تعني المحافظة على الرصف إلى حماية الوضع القائم للطريق من أجل تحسين أدائه وإطالة عمره التشغيلي بأفضل تكلفة ممكنة. ويشمل ذلك القيام بإجراءات للحفاظ على الطرق في الخدمة بشكل مناسب، وتنفيذ تقنيات الصيانة التصحيحية والوقائية بطريقة تقلل من استخدام أنشطة إعادة التأهيل على الطريق والشكل 16 يوضح تباين حالة الطريق مع الزمن.



شكل 16: منحنى العلاقة بين حالة الرصف والزمن

ويجب أن تتدرج هذه الإجراءات ضمن برنامج للحفاظ على الطريق، والذي بدوره يجب أن يؤكد على استخدام تقنيات الصيانة الوقائية لتحسين الحالة الوظيفية للطريق وتأخير مستوى التدهور فيها. يعد استخدام المعالجات الوقائية أكثر اقتصادا مقارنة بأعمال إعادة تأهيل الطرق أو إعادة الإنشاء ويؤدي إلى انخفاض معدل تدهور الرصف، مما يؤخر الحاجة إلى عمليات إعادة تأهيل كبيرة لسنوات؛ ويترجم هذا التأخير إلى توفير كبير في التكاليف المرتبطة بصيانة الرصف كما هو موضح بالشكل 17.



شكل 17 منحنى التكلفة لعدم تطبيق الصيانة الوقائية في الوقت المحدد.

بالإضافة إلى ما سبق الإشارة إليه فإن جدول 9 يوصي ببعض المعالجات للحفاظ على سطح الرصف بحالة تشغيلية جيدة.

جدول 9 البدائل والإجراءات لظروف الرصف المختلفة.

تقنيات الصيانة	التقييم	PCI
صيانة روتينية	جيد جدًا	100-90
صيانة وقائية	جيد	89-70
إعادة تأهيل طفيفة	عادي	69-50
إعادة انشاء	سيء	49-25
إعادة انشاء	يسئ جدا	24-0

#### استخدام مؤشر حالة الرصف لتقييم الرصف

تستخدم العديد من مؤشرات تقييم حالة الرصف لإجراء تقييمات إدارة الرصف، ومن أكثر هذه المؤشرات استخداما هي مؤشر الخشونة الدولي (INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX (IRI) ومؤشر حالة الرصف

(PCI). يتم الحصول على IRI عادةً باستخدام معدات متخصصة تقيس جودة سطح الطريق بناءً على نموذج رياضي، في حين يعتمد PCI على تصنيف شخصي لعدد مشاكل الرصف. تشير الدراسات السابقة إلى أن معظم مؤشرات تقييم الرصف مرتبطة ببعضها البعض [3].

ويعتبر PCI من أكثر المؤشرات شيوعاً ويستخدم العديد من الطرق الإحصائية للتنبؤ به والتي من أهمها طريقة الارتباط الخطي المتعدد (Multiple linear Regression (MLR) وطريقة الشبكة العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Network (ANN). وقد أجريت العديد من الدراسات للتنبؤ بحالة الرصف، حيث استخدم امجد عيسى وآخرون طريقة ANN لدراسة العلاقة بين معامل PCI ونوع الأضرار وشدها لمجموعة من الطرق بمدينة نابلس بفلسطين وقد وجد ان العلاقة منخفضة بين الأضرار و PCI، حيث لم تتجاوز أعلى علاقة مطلقة بين PCI وأي نوع من الأضرار وشدها 0.38. كما أشارت النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة أن نموذج ANN قادر على التنبؤ بـ PCI بمستوى عالٍ من الموثوقية، بقيمة (R<sup>2</sup>) Determination Coefficient عالية [4].

وطور عبدالمطلب و السكبي نماذج لتوقع اضرار الرصف باستخدام PCI لطريق قصر بن غشير ترهونة باستخدام (MLR) و (ANN) وكانت النماذج المتحصل عليها جيدة في كلا الحالتين وقد تم الحصول على نتائج افضل لقيم معامل التحديد (R<sup>2</sup>) Determination Coefficient و متوسط الخطاء المطلق Mean Absolute Error (MAE) وجذر متوسط مربع الاخطاء (RMSE) Root Mean Squared Error لنموذج (ANN). [5].

كما قامت العديد من الدراسات بتقييم حالة الرصف للطرق للحفاظ على معايير الجودة وسلامة الطرق بإجراء المسح الميداني وجمع البيانات للأضرار الموجودة على سطح الرصف. ومنها الدراسة التي اجراها صبرالدين وداني لطريق كالماتا السريع بإندونيسيا والتي تم فيها تطبيق PCI من خلال مراحل المسح البصري في موقع البحث، وتحديد نوع ومستوى الضرر وقياس أبعاد الضرر والتي تشمل الطول والعرض والعمق، وحساب مساحة الضرر، وتحليل حالة الضرر. واستناداً إلى نتائج التحليل، تم تصنيف سطح طريق كالماتا على أنه سيء جداً بقيمة PCI=0 [6].

كما استخدم حسن وآخرون PCI في دراسة اجروها لمجموعة من الطرق بمدينة دكا بالبنغلاديش والتي توصلوا فيها الى حالة الرصف لكل طريق مدروس ونوع الاجراء المناسب لزيادة عمره التشغيلي [2].

وأشار آرين وآخرون في دراستهم لبيانات IRI أو PCI لتطوير التنبؤ بقيمة PCI من IRI حسب التصنيف الوظيفي ونوع الرصف في مقاطعة كولومبيا بالولايات المتحدة الأمريكية الى ان الطرق السريعة تتمتع برحلة أكثر سلاسة من الطرق الشريانية، تليها الطرق التجميعية والطرق المحلية. كما اظهرت نتائج هذه الدراسة الى ان الرصف المركب (خرساني اسفلتي) كان أكثر سلاسة من الرصف الأسفلتي يليه الرصف الخرساني [3].

كما أجري رفاعي وآخرون دراستهم لتقييم الحالة الوظيفية والانشائية للرصيف لمجموعة من مقاطع الطرق بإندونيسيا مستخدمين PCI كمؤشر لحالة الرصيف، وقد أشارت النتائج إلى أن قيم PCI تتراوح بين عادي إلى جيد وهو ما يعطى صورته واضحة عن حالة الطريق، ويساعد المسؤولين على اتخاذ القرارات المناسبة. [7]

أما إسراي وآخرون فقد استخدموا PCI ومؤشر أضرار السطح (SDI) لتقييم حالة الرصيف وظيفياً لطريق بمدينة جاكرتا بإندونيسيا ومقارنة النتائج المتحصل عليها باستخدام كلا المؤشرين، وقد تم استخدام أسلوب المراقبة المباشرة ميدانياً من خلال إجراء مسح بصري لحالة الرصيف. وقد بينت الدراسة أنه لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية في النتائج. وأن قيم PCI للأجزاء المدروسة كانت 90% ممتاز و 1% جيد جداً. [8]

كما استخدمت العديد من الدراسات PCI لتتنبؤ بقيمة العمر الخدمي المتبقي للطريق Remaining Service Life (RSL) حيث قام ستوان بتقييم ظروف أداء الرصيف والأضرار به وحساب العمر المتبقي لمقاطع طريق بسومطرة بإندونيسيا وقد أظهرت نتائج الدراسة أن هناك ارتباط قوي بين قيمة PCI و RSL وكان معامل الارتباط 0.88 كما أظهرت النتائج أن قيم PCI للمقاطع المدروسة تتراوح من ضعيفة إلى جيدة وأن قيم RSL المتحصل عليها للمقاطع المدروسة تتراوح من 0.11 سنة إلى 3.57 سنة. [9]

كما استخدم مبارك في دراسته PCI لتقييم حالة الرصيف لطرق بمدينة جازان بالسعودية، وقد أشارت النتائج أن 65% من شبكة الطرق الرئيسية بجازان تتمتع بحالة رصف جيدة جداً في حين أن 30% فقط من شبكة الطرق الثانوية بجازان تتمتع بحالة رصف متوسطة. [10]

#### الاستنتاجات.

من خلال ما تم استعراضه خلال هذه الدراسة نستنتج الآتي:

- PCI هو طريقة بسيطة للتطبيق العملي، بالإضافة إلى المعلومات المتعلقة بمستويات حركة المرور لمنطقة معينة، يسمح بتحديد اللحظة المناسبة لتطبيق بعض تقنيات الصيانة.
- باستخدام PCI، يمكن اتخاذ قرارات أفضل بناءً على شروط موضوعية، مما يسمح بتطبيق تقنيات الصيانة المناسبة، وتحسين ظروف الرصيف بمرور الزمن.
- من خلال الحفاظ على الطريق في حالة جيدة، يتم تحسين السلامة المرورية وتحقيق رضا السائق.
- تطبيق تقنيات الصيانة المبنية على معايير موضوعية مثل PCI، يسمح بتقليل تكاليف الصيانة على الطرق.

## التوصيات.

من خلال ما تم استنتاجه نوصي بالآتي:

- تعميم استخدام PCI لتقييم الرصف المرن.
- إعداد خطط صيانة الطرق بناءً على نتائج استخدام مؤشرات تقييم الرصف والتي من أهمها PCI ومستوى حركة المرور على الطريق.
- مراقبة الطرق بشكل دوري وتحديد حالتها ونوع حركة المرور لاختيار تقنيات الصيانة المناسبة في الوقت المناسب ضمن إطار خطة صيانة الطريق.

## المراجع

- [1] M. Shahin, S. D. Kohn. Development of a Pavement Condition Rating Procedure for Roads, Streets, and Parking Lots. Construction Engineering Research Laboratory, United States Army Corps of Engineers. 1979, Champaign, Illinois.
- [2] A. S. Hasan, K. Tabassum, A. B. Kabir, K. Roksana. Maintenance and Possible Remedy for Pavement Distress in Flexible Pavement using Pavement Condition Rating. World Journal of Science and Engineering 2019; 4: 27-34.
- [3] S. A. Arhin, L. N. Williams, S. Ribbiso, M. F. Anderson. Predicting Pavement Condition Index Using International Roughness Index in a Dense Urban Area. Journal of Civil Engineering Research. 2015; 5 (1):10-17.
- [4] A. Isaa, H. Samaneh, M. Ghanim. Predicting pavement condition index using artificial neural networks approach. Ain Shams Engineering Journal. 2022; 13.
- [5] A. A. Ali, M. I. Esekbi. Development of Pavement Condition Index Assessment Model for Road Pavements in Libya Using Machine Learning. The 9th National Conference for Building Materials and Structural Engineering. 2022, Tripoli, Libya.
- [6] Sabaruddin, A. Deni. Application of pavement condition index (PCI) on the assessment of the Kalumata highway section of the City of South Ternate. IOP Conf Series: Earth and Environmental Science. 2020.

- [7] M. Rifai, A. Setyawan, F. S. Handayani, A. D. Arun. Evaluation of functional and structural conditions on flexible pavements using pavement condition index (PCI) and international roughness index (IRI) methods. The Third International Conference of Construction, Infrastructure, and Materials , Jakarta, Indonesia .2023 ،
- [8] M. Isradi, H. A. Setiaputri, A. I. Rifai, A. Mufhidin. Analysis Of Urban Road Damage with Pavement Condition Index (PCI) And Surface Distress Index (SDI) Methods. International Journal of Sciences, Engineering and Technology. 2021; 6(01); 10-19.
- [9] A. Setyawan, J. Nainggolan, A. Budiarto. Predicting the remaining service life of road using pavement condition index. The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum. 2015; 125: 417-423.

## إزالة السدود - بديل عن الصيانة والإصلاحات المكلفة (سدود مدينة سرت)

د. محمد علي عبد الله الصغير<sup>1</sup>، ا. عايشة عمر اجديات<sup>2</sup>، هناء مصباح احواس<sup>3</sup>

1،2 عضو هيئة تدريس قسم الهندسة المدنية والمعمارية، سرت، ليبيا

3 طالبة، سرت، ليبيا

drmohammedalsger@gmail.com

## الملخص

اعتمد الإنسان منذ قديم الزمان على السدود لتجميع مياه الأمطار والانهيار للاستفادة منها في حياته اليومية كالري وتوجيه المياه وتخزينها للاستخدام في فصول الجفاف وتطور استخدام السدود مع تقدم الحضارات والتكنولوجيا. في عصور ما قبل التاريخ تم استخدام اغصان الأشجار والأحجار والطين لتشييدها ومع تطور التكنولوجيا والهندسة المدنية، أصبح بإمكان الإنسان بناء سدود أكبر وأكثر فعالية ولعبت دوراً حاسماً في توفير المياه اللازمة للزراعة والصناعة والشرب، كما أصبحت مصادر هامة لتوليد الطاقة الكهرومائية كما تستخدم السدود في التحكم في الفيضانات والحفاظ على التوازن البيئي.

بعد انهيار سدود مدينة درنة الليبية، انتشرت فكرة إزالة السدود في حالة وجود بديل يمكن الاعتماد عليه في توفير المياه وهناك عدة أسباب لأزالتها من أهمها تدفق السيول حيث ان تدفقها يؤدي إلى تكوين بحيرات صغيرة في حالات الفيضانات، وعندما تتجاوز كمية المياه القدرة الاستيعابية للسد، يمكن أن تتسبب في انهيار السد وتدفق كميات كبيرة من المياه بشكل مفاجئ.

في اغلب الاحيان تكون تكاليف صيانة السدود باهظة، خاصة إذا كانت السدود قديمة وتحتاج إلى إجراءات صيانة مكثفة ومستمرة للحفاظ على سلامتها. في بعض الأحيان، قد يكون من الأكثر اقتصادية إزالة السدود واستعادة المنطقة إلى حالتها الطبيعية بدلاً من إنفاق الموارد على صيانة طويلة الأمد.

ويجب أن يتم اتخاذ قرار إزالة السدود بناءً على دراسات شاملة تحليلية تأخذ في الاعتبار العوامل الفنية والاقتصادية والبيئية والاجتماعية المرتبطة بها.

وفي هذا البحث سوف نعرض السدود وأنواعها وكيفية عملها وعرض ومراجعة بعض الأسباب التي تدفع لإزالتها ولا سيما بعد كارثة سدود درنة. بالإضافة إلى مناقشة إمكانية إزالة السدود المحيطة بمدينة سرت التي في معظمها تسكيته خرسانة عادية ومسلحة، التي تعرضت للأضرار في الخرسانة نتيجة لعدم الصيانة الدورية..

الكلمات الدالة: السدود، الفيضانات، صيانة. الامطار، إزالة

## المقدمة

تم انشاء معظم سدود ليبيا في السبعينيات والثمانينيات الماضية لحماية المدن من الفيضانات، وتغذية الخزان الجوفي، والاستفادة من مياه الأمطار للشرب وتغذية المشروعات الزراعية، وقُدرت كميات الجريان السطحي في أودية ليبيا بحوالي 200 مليون متر مكعب سنويًا، وتم إنشاء 18 سدًا رئيسيًا على أهم هذه الأودية الموسمية شرق ووسط وغرب ليبيا، هذه السدود مبيّنة في الجدول (1)، يبلغ متوسط تخزينها السنوي أكثر من 61 مليون متر مكعب.

جدول (1) السدود الرئيسية في ليبيا

اسم السد	المنطقة	السعة التخزينية لبحيرة السد	متوسط التخزين السنوي
		(مليون م <sup>3</sup> )	
وادي المجنين	بن غشير	58	10
وادي كعام	زليتن	111	13
وادي غان	غريان	30	11
وادي زرات	الرابطة	8.6	4.5
وادي لبدة	الخمس	5.2	3.4
وادي القطارة	بنغازي	135	12
سد وادي القطارة الثانوي	بنغازي	1.5	0.5
وادي مرقص	راس هلال	0.150	0.150
وادي بن جواد	بن جواد	0.340	0.300
وادي زازه	العقورية	2	0.800
وادي درنة	درنة	1.15	1.0
وادي بو منصور	درنة	22.3	2.0
وادي تيريت	زليتن	1.6	0.500
وادي الذكر	زليتن	1.6	0.500
وادي جارف	سرت	2.4	0.300
وادي الغربيات	سرت	2.8	0.700
وادي الزيد	سرت	2.6	0.500
وادي زفار	الجفرة	3.65	0.200
الاجمالي		375.584	61.39

من ضمن المناطق التي انشئ بها سدود مدينة سرت، تقع مدينة سرت على البحر الأبيض المتوسط، وفي منتصف الطريق بين العاصمة طرابلس وبنغازي المدينة الرئيسية في الشرق. وتشتهر المنطقة منذ قرون بتربية الماشية والإبل.

تمتاز المناطق الشاطئية لسرت بطقس متوسطي معتدل معظم فصول السنة، أما المناطق البعيدة عن الساحل فتتميز بأنها شديدة الحرارة صيفاً وشديدة البرودة شتاءً. تم انشاء ثلاث سدود محيطة بمدينة سرت سد الغربيات، سد وادي الزيد وسد وادي جارف للاستفادة منها في توفير مياه الأمطار للشرب وتغذية المشروعات الزراعية.

في 5 سبتمبر 2023 تشكلت عاصفة في شرق البحر الأبيض المتوسط. شهد أولاً جنوب شرق البلقان وشمال غرب تركيا تهاطلاً كبيراً للأمطار، وقد تسببت الفيضانات الناجمة عن ذلك في مقتل 16 شخصاً وأضرار بقيمة مادية كبيرة في اليونان، واصل الأعصار طريقه وهو يزداد قوة، حيث تم قياس سرعة الرياح بـ 85 كلم/ساعة. عبر الأعصار المتوسط من جنوب غرب اليونان، ودخل شمال افريقيا من بنغازي في 10 سبتمبر/أيلول. كانت بعض الأحياء في درنة الواقعة على الواجهة البحرية قد تلقت أمراً بالإخلاء، تحسباً لخطر حدوث أمواج قوية وغمر بحري.

كانت الأمطار شديدة على الجبل الأخضر، حيث سجلت محطة الأرصاد الجوية للبيضاء تهاطل أكثر من 400 ملم من الأمطار خلال 24 ساعة. بدأ خزان سد أبي منصور في الامتلاء، كانت الساعة الواحدة و12 دقيقة ليلاً من يوم الإثنين 11 سبتمبر/أيلول. أدى الفائض في المياه إلى إضعاف الهيكل بزمته وتسبب في انهيار سد أبو منصور. وانفجر الهيكل الثاني تحت الضغط. كانت الساعة آنذاك تشير تقريباً إلى الثالثة صباحاً. وبعد أن تحررت من أي عائق، اجتاحت المدينة موجة عرضها 150 متراً وعلوها بين ثلاثة وسبعة أمتار، وجرفت في طريقها ربع البلدة. كانت الخسائر البشرية فظيعة، حيث قُتل ما لا يقل عن أربعة آلاف شخص ويوجد أكثر من 8 آلاف في عداد المفقودين. أرقام تتجاوز تلك الذي خلفها إعصار "هايان"، أحد أقوى الأعاصير التي تم قياسها على الإطلاق الذي أودى بحياة ما يقارب من 6 آلاف شخص في الفلبين في 2013 [1].

من 11 سبتمبر أصبحت السدود مصدر قلق وخوف في جميع أنحاء العالم وليبيا خاصة بعد الكارثة، وإذا كانت هناك طريقة يمكن الاعتماد عليها لتوفير المياه غير السدود، فقد اكتسب مفهوم إزالة السدود زخماً بعد انهيار السدود في مدينة درنة. هناك عدة أسباب لإزالتها، ولكن السبب الرئيس هو أنه عندما تتدفق السيول، تتشكل بحيرات خلال جريان المياه من الوديان، وعندما يتجاوز حجم المياه القدرة الاستيعابية للسد، تتدفق كمية كبيرة من المياه فجأة وقد ينهار السد.

قد يرتفع خطر الفيضانات نتيجة لتراكم المياه خلف السدود، إذا لم يتم صيانة مصارف قنوات المياه خلف السدود والاهتمام بها بشكل منتظم، كذلك تراكم الطمي يقلل من قدرتها على تصريف المياه ويزيد من خطر الفيضانات.

في أغلب الأحيان، تكون صيانة السدود مكلفة، خاصة إذا كانت قديمة وتتطلب صيانة واسعة النطاق لضمان سلامتها. وفي بعض الأحيان، قد تكون إعادة الأرض إلى شكلها الأصلي وإزالة السدود أكثر فعالية من حيث التكلفة من الاستثمار في صيانتها على المدى الطويل.

يجب أن يكون خيار إزالة السدود مدعومًا بدراسات تحليلية شاملة تشمل الجوانب الاجتماعية والفنية والاقتصادية والبيئية لهذه الإنشاءات.

هذه الورقة تهدف إلى مراجعة الدراسات السابقة الخاصة بإزالة السدود بديل عن الصيانة والإصلاحات المكلفة بناءً على تجارب وخبرة الدول الأخرى، وتطبيق هذه الدراسات على السدود المحيطة بمدينة سرت التي لم تتم صيانتها منذ فترات طويلة، الذي أدى ألي وجود مشكلات في بنية هذه السدود نتيجة لعدم الصيانة الدورية.

### الدراسات السابقة

حسب مقال لوحيده محمد مفضل، تعدّ السدود من أقدم الوسائل التي استخدمها الإنسان لترويض عنفوان الأنهار والمجاري المائية الطبيعية، وقد بدأ الإنسان في إقامتها في الأساس إما بهدف تنظيم وإدارة الموارد المائية المتاحة وتوفير احتياجاته من المياه الصالحة للشرب والزراعة، أو بهدف درء وتجنب خطر ما متكرر الحدوث مثل الفيضانات أو السيول، أو لتحقيق كلا الغرضين معا. واعتمادا على نوع المادة المكونة للسد تنقسم السدود إلى نوعين رئيسيين، وكل منهما ينقسم بدوره إلى أنواع أخرى أكثر تعقيدا: النوع الأول: الخرساني الذي عادة ما يتم بناء جميع أجزائه من الخرسانة الإسمنتية المسلحة، ويشترط عند بناء هذا النوع أن تتحمل التربة التحتية الضغط الهائل الناتج عن ثقل هذه الخرسانة. النوع الثاني: السدود الترابية أو الركامية التي تكون مادتها الإنشائية الأساسية من الحصى أو الركام بالإضافة إلى الرمال وإن كانت هذه الكتلة الحاجزة تبطن في جميع الأحوال بطبقة إسمنتية، وهذا النوع من السدود يتميز بانخفاض تكلفة بنائه نسبيا مقارنة بالنوع الأول، ثم أن إنشائه لا يتطلب عمل أساسات تحتية ضخمة مثلما الحال في السدود الخرسانية، لذا فإنه يكون أكثر عرضة للتصدع أو الانهيار مقارنة بالنوع الأول وإن كان هناك أكثر من عامل يحكم هذا الأمر، مثل قوة العامل الخارجي المؤثر (زلازل، متفجرات، براكين)، وطبيعة التربة التحتية، وطبيعة المنطقة الجيولوجية، وسلامة التصميم الهندسي، وخلافه. مع أنّ كل الفوائد والجوانب الإيجابية للسدود فإنه من النادر أن يخلو أمر سد ما خاصة السدود المقامة على الأنهار الكبرى من بعض المخاطر الكامنة أو الأضرار والآثار السلبية خاصة على النواحي الاجتماعية والبيئية، وإذا بدأنا بالآثار الجانبية فإنه يمكن إيجاز أبرزها في النقاط التالية

- تهجير المجتمعات السكانية المتواجدة بمنطقة بناء السد.
- إزالة الموائل الطبيعية، وبعضها قد يكون حاضرا لبعض الكائنات والأحياء الحيوانية والنباتية المهدهة بالانقراض.
- ارتفاع مستوى المياه الجوفية في المنطقة المحيطة بالسد نتيجة حجز كميات هائلة من المياه في الخزان المائي الخاص به.

- حجز السد للظمي والغرين النهري الغني بالمواد العضوية والتي هي بمثابة سماد طبيعي يغذي التربة الزراعية.
- زيادة عملية النحر في مجرى النهر وتآكل شواطئ دلتا النهر وتراجعها للخلف بدلا من تقدمها وحمايتها.

أما فيما يخص الخسائر المحتملة أو الناتجة عن انهيار أحد السدود كليا أو جزئيا فيتوقع لها بطبيعة الحال أن تكون مدمرة وكارثية، وهذا على أكثر من مستوى، ولا سيما إذا ما حدث هذا الأمر بشكل فجائي<sup>[2]</sup>.

بمجرد أن يثبت السد أنه تم بناؤه بشكل جيد بما يكفي لإيقاف الخزان (تحدث العديد من حالات فشل السدود إما خلال البناء أو في أثناء أو بعد وقت قصير من ملء الخزان) فإن هيكله وأجزائه المكونة ستبدأ في التقادم. الطبيعة الفريدة لكل سد تعني أن كل هيكل سيعمر بمعدل مختلف وبطريقة مختلفة. قد تظل بعض السدود آمنة لمدة ألف عام، والبعض الآخر قد يبدأ في التصدع والتسرب بعد أقل من عقد من الزمن. وفي مختلف أنحاء العالم، يبلغ عمر نحو 5000 سد كبير الآن أكثر من 50 عاما، ويزداد بسرعة عدد وحجم السدود التي يصل عمرها إلى نصف قرن. يبلغ متوسط عمر السدود في الولايات المتحدة الآن حوالي 40 عامًا. ووفقاً للجنة المعنية بشيخوخة السدود في مؤتمر ICOLD عام 1991، "في المستقبل، سوف يتحول الاهتمام والنشاط أكثر فأكثر من تصميم وبناء السدود الجديدة إلى استعادة السلامة الهيكلية والتشغيلية للسدود القائمة."

تظهر دراسة أجرتها أونتاريو هيدرو للبيانات من عدة مئات من السدود في أمريكا الشمالية أن تكاليف تشغيل السدود المائية في المتوسط ترتفع بشكل كبير بعد حوالي 25-35 سنة من التشغيل بسبب الحاجة المتزايدة للإصلاحات. عندما تتجاوز تكلفة صيانة السد القديم إيرادات مبيعات الطاقة، يجب على أصحابه أن يقرروا إما الاستثمار في إعادة تأهيل السد، أو، إذا كانت تكلفة الإصلاحات باهظة، فصل السد عن الشبكة والتوقف عن إنتاج الطاقة.

إن إزالة السدود هي عملية معقدة تتطوي على موازنة التكاليف والفوائد من وجهات نظر مختلفة. في حين أن هناك فوائد بيئية واجتماعية لا يمكن إنكارها مرتبطة بإزالة السدود، فمن الأهمية بمكان النظر في الآثار الاقتصادية أيضا .

أحد المخاوف الأساسية عندما يتعلق الأمر بإزالة السدود هو العبء المالي المرتبط بتفكيك الهيكل. يمكن أن تختلف تكلفة إزالة السد بشكل كبير اعتماداً على حجمه وموقعه ومدى تعقيد المشروع. قد تشمل النفقات التقييمات الهندسية، وإدارة الرواسب، وتعديلات البنية التحتية، واستعادة الموائل. ومع ذلك، من المهم ملاحظة أن هذه التكاليف غالباً ما تكون نفقات لمرة واحدة، وبمجرد إزالة السد، يتم التخلص من تكاليف الصيانة والإصلاح المستمرة.

يجب أن يتم اتخاذ قرار إزالة السد على أساس كل حالة على حدة، وليس على أساس أن السدود سيئة أم لا<sup>[3]</sup>.

اجتاح بعض مدن الشرق في ليبيا إعصارا قويا مصحوبا بأمطار غزيرة بشكل لم يسبق حدوثه، مما أدى إلى غرق مدينة درنة، بعد انهيار السدود بها، حيث غمرت المياه المنطقة، وجرفت أمامها الحجر والبشر والمركبات، لتكون ليلة 11 سبتمبر 2023 هي الليلة الفاجعة التي هزت ليبيا والمجتمع العربي والدولي.

نتيجة لمرور الوادي بوسط المدينة، وتكرار فيضانه، فقد تم تقديم دراسات في الستينيات من القرن الماضي، بضرورة إنشاء أكثر من سد، لحماية المدينة وحجز الكميات الهائلة من المياه التي تمر بالوادي في وقت الفيضان، بحيث يكون مصب المياه بالبحر، مع بناء سدين على مجرى الوادي.

شهدت الحقبة ما بين الأعوام، (1973-1977)، بناء السدود بواسطة شركة يوغسلافية، وتعدى بناؤها أكثر من (50) عاما، وقاومت السيول لعقود، إلا أنها انتهت بفاجعة كبيرة، حصدت أرواح آلاف الضحايا والمفقودين، وخسائر مادية كبيرة.

السد الأول بارتفاع (75) متر، والسعة التخزينية (22.5) مليون متر مكعب، أما السد الثاني يبلغ ارتفاعه (45) متر، والسعة التخزينية (1.5) مليون متر مكعب. وحسب وصف الشركة للسد من الناحية الإنشائية فهي سدود (ركامية ذات لب طيني وقشرة صخرية)، وهذا النوع من الجسور يسمى الجسر الترابي.

الدكتور عبد المنعم سعيد محاضر وباحث في علوم البيئة ومتخصص في دراسات الأراضي القاحلة وشبه القاحلة والتقنيات الزراعية، بجامعة بنغازي ذكر في تقرير نشر في عدد من المواقع حول فيضان سبتمبر 2023، الذي وصفه بأنه الأكثر شدة ودمارا وخرابا وإيلاما عبر تاريخ هذه المدينة لعدة أسباب منها: كميات الأمطار التي سقطت في مدة أقل من (24) ساعة تجاوزت في حوض تجميع الوادي (200) مليمتر، وهذا يعني أن حوض التجميع استقبل ما يزيد عن (115) مليون متر مكعب من المياه، وهي كمية أكبر بكثير من قدرة تحمل السدود مجتمعة، ولم تسجل سابقا في كل الفيضانات المسجلة، ثم أن وجود السدود خلال الخمسين سنة السابقة خلق حالة من الاطمئنان لدى الناس، مما جعلهم يزحفون بالمباني والطرق والمنشآت على ضفاف الوادي، التي لم تكن مقصودة عبر التاريخ بإنشاء الطرق والمباني.

عكس الفيضانات السابقة كانت المياه تتدفق بحرية في المجرى، لكن هذا الفيضان كان بسبب ما تراكم خلف السدود من كميات كبيرة، بالإضافة إلى ما جاء به الوادي من كميات إضافية هائلة من المياه، مما جعله فيضان تاريخي وغير مسبوق، وأحد الأدلة على ذلك أن أضرحة صحابة رسول الله بقيت هناك منذ الفتح الإسلامي، بالرغم كل الفيضانات عبر التاريخ، لكن هذا الفيضان أكتسحها وعدة أمتار تحتها، وأصبح مكان تلك الأضرحة في الهواء بعدة أمتار فوق سطح الأرض<sup>[4]</sup>.

نشرت صحيفة "نيويورك تايمز" الأمريكية، مقالا للمديرين المشاركين لمنظمة الأنهار الدولية، جوش كلين وإيزابيلا وينكلر، قالوا فيه إن انهيار سدين في ليبيا، الذي أطلق العنان لمياه الفيضانات الغزيرة التي خلفت ما لا يقل عن آلاف الضحايا والمفقودين، كان من الممكن منعه بالرغم أنه كان متوقعا.

وذكر المقال الذي ترجمته "عربي21"، (أن سدي درنة لن يكونا آخر السدود الكبيرة التي تنهار إلا إذا تم إزالة وإصلاح بعض الهياكل القديمة والمتقدمة التي تجاوزت تاريخ انتهاء صلاحيتها منذ مدة) .

ويضيف المقال الذي كتبه مختصان بالمياه والسدود، أن قبل الكارثة في ليبيا، كان الطقس القاسي الذي تقاوم بسبب تغير المناخ يؤثر فعلاً على السدود حيث دمرت الأمطار الغزيرة سد أوروبيل القديم في كاليفورنيا في عام 2017، ما أدى إلى عمليات إجلاء جماعية وسُط مخاوف من حدوث تسربات كبيرة خارجة عن السيطرة .

كما دمرت قطعة من نهر جليدي في الهيمالايا سدا وألحقت أضراراً بأخر في شمال الهند في عام 2021، ما أسفر عن مقتل العشرات، حيث أصبح ذوبان الأنهار الجليدية بسرعة نتيجة لارتفاع درجات الحرارة الآن خطراً كبيراً على سلامة السدود والمجتمعات التي تعيش في اتجاه مجرى النهر .

وكان النهج الافتراضي هو إصلاح السدود القديمة عند الحاجة، ومراقبة مستويات الخزانات ومحاولة توقع هطول الأمطار وزيادة التدفقات من المنبع، وفق المقال.

ويذكر كاتباً المقال على سبيل المثال سد كاريا الواقع على نهر زامبيزي في جنوب أفريقيا، الذي يخضع لإصلاحات واسعة النطاق لمنع انهياره بعد أن تبين أن مجرى النهر تحته قد تعرض للضعف الشديد. وتقدر تكلفة الإصلاحات المطلوبة لإبقاء السد قائماً حوالي 300 مليون دولار، برغم انخفاض إنتاج الطاقة الكهرومائية أصلاً بسبب الجفاف . ويرى المقال أن مثل هذه المشروعات تعمل في الأساس على سد الشقوق، وغالباً ما تكون أكثر تكلفة بكثير على المدى الطويل من إزالة السدود التي عفا عليها الزمن.

وفي حين أن بعض السدود القديمة لا تزال توفر مياه الشرب وتساعد المزارعين في إرواء حقولهم، فإن العديد من السدود التي تم بناؤها للطاقة الكهرومائية لا تولد سوى جزء صغير من الكهرباء التي كانت تنتجها في السابق بسبب تراكم الرواسب خلف جدرانها. كما أدى الجفاف المتزايد المرتبط بتغير المناخ إلى شل توليد الطاقة الكهرومائية في جميع أنحاء العالم، مما أدى إلى تقنين الطاقة وانقطاع التيار الكهربائي في الولايات المتحدة والصين والبرازيل.

ويقول الكاتبان، إن حقيقة تزايد صعوبة تبرير وجود العديد من السدود هي أحد الأسباب وراء وجود حركة متنامية، تقودها غالباً الشعوب الأصلية وغيرها من السكان المهمشين، لإزالتها.

وختم المختصان بالسدود والأنهار مقالهما المشترك بالإشارة، إلى أن كارثة السد المأساوية في ليبيا تعتبر بمنزلة إنذار للسدود القديمة الأخرى في جميع أنحاء العالم، وإن أفضل أداة هي إزالتها تماماً<sup>[5]</sup>.

كذلك حذرت دراسة ليبية من «كارثة» ستلحق بدرنة في حال حدوث فيضان ضخم، إذا لم تبدأ السلطات في إجراءات فورية لصيانة السدود وحماية سكان المنازل التي تقع في مجرى وادي درنة، جاءت تلك التحذيرات قبل أن تضرب العاصفة «دانيال» المدينة مخلفة أضراراً ودماراً بالغين.

أجريت الدراسة التي اطلعت عليها «بوابة الوسط»، الباحث عبدالونيس عبد العزيز عاشور من كلية الهندسة جامعة عمر المختار بالبيضاء، الذي زار وادي درنة، حيث وجد بعض المساكن مبنية داخل حوض وادي درنة ما يجعل سكانها مهجرين في حال وقوع فيضانات. وهو ما حدث فعلاً حين جرفت مياه سيول وفيضانات العاصفة «دانيال» المناطق القريبة من مجرى الوادي، وخلفت مئات الوفيات إضافة إلى فقدان الآلاف ونزوح الكثير من سكان المدينة.

وقالت الدراسة التي نشرت بالمجلة العلمية، جامعة سبها، في 27 نوفمبر 2022، إن الوضع القائم في حوض وادي درنة يحتم على المسؤولين اتخاذ إجراءات فورية بإجراء عملية الصيانة الدورية للسدود القائمة لأنه في حالة حدوث فيضان ضخم فإن النتيجة ستكون كارثية على سكان الوادي والمدينة، داعية إلى ضرورة إيجاد وسيلة لزيادة الغطاء النباتي لتقوية التربة ومنعها من الانجراف.

وتلقى الباحث بيانات جغرافية مهمة من الأستاذ المساعد بكلية التربية جامعة عمر المختار الدكتور مهدي محمد مهدي يعقوب، كما توصل إلى تقدير الجريان السطحي في حوض وادي درنة عبر تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية بتطبيق نموذج الأرقام المنحنية للجريان السطحي، وذلك تبعاً للغطاءات الأرضية ومجموعات الترب الهيدرولوجية، وكذلك بمعرفة قيم الأمطار للعواصف المطرية المسجلة في محطات الرصد سنوياً.

واستندت الدراسة في تقدير حجم الجريان السطحي السنوي في الحوض إلى متوسط هطول الأمطار خلال مدة الرصد بين العامين 1960 و2000، إذ بلغ 138.51 مليون متر مكعب في السنة، وهذا يؤكد وجود كمية كبيرة من مياه الجريان السطحي في أوقات وفرة الأمطار وأنها ذات قيمة هيدرولوجية إذا جرى استغلالها بالشكل الأمثل.

وبلغ حجم الجريان السطحي الناتج عن أعلى عاصفة مطرية سُجِلت في الحوض قبل العاصفة «دانيال» قيمة 53.36 مليون متر مكعب في اليوم، أي ما نسبته 40% من حجم الجريان السطحي السنوي، فيما سجل حجم الجريان عند وقوع العاصفة المطرية خلال الفيضان العام 1986، 14.8 مليون متر مكعب من المياه<sup>[6]</sup>.

خلال العام 1986 ضربت عاصفة كبيرة المنطقة، مما أدى إلى أضرار في السدين، وجرف التربة من الأرض. ومع أن السدين تضررا إلا أنهما صمدا مرة أخرى. وعلى الرغم من هذه الضغوط، كانت عمليات الصيانة قليلة للغاية .

والسدان كانا يحتويان على مجاري تصريف خرسانية من المفترض أن تعمل بشكل يشبه إلى حد بعيد تلك الموجودة في حمامات الاستحمام العادية. فعندما يرتفع منسوب المياه لمستويات عالية للغاية، يذهب الزائد منها إلى مجرى التصريف، ويخرج من تحت السد. غير أنه إذا لم يجر إنشاء قناة تصريف المياه بالحجم الكافي أو كانت الأنابيب ضيقة جداً، بحيث لا تتناسب مع قوة العاصفة، ولذلك استمرت المياه في الارتفاع. وعندما يرتفع الماء فوق قمة السد، يبدأ السد نفسه في التآكل تدريجياً، حتى ينهار هيكله برُمته، وتتدفق المياه بحرية، وهو ما حدث فعلاً مع سدي درنة، حسب نيويورك تايمز<sup>[7]</sup> .

السدود لديها عدد محدود من السنوات للعيش. ومع التقدم في السن، تقل فوائده تدريجياً. وبعد مدة من الوقت، تصبح عديمة القيمة عملياً، ولكن هناك ثمن يجب دفعه مقابل الحفاظ عليها.

يمكن أن يحدث انهيار أو تصدع أحد السدود الضخمة لأكثر من عامل وسبب، لكن العوامل أكثر حدوثاً تتمثل في حدوث عمل تخريبي متعمد خلال الحروب والنزاعات، أو التصدع بسبب الزلازل أو الهزات الأرضية الشديدة، أو بسبب مشكلة في تصميم السد نفسه أو تربته التحتية، ويمكن أن يحدث الضرر بسبب هطول أمطار غزيرة بما يفوق قدرة السد التخزينية ويؤدي إلى فيضان المياه.

أما بالنسبة للمخاطر والخسائر الواقعة في حالة انهيار أو تصدع أحد السدود -لا قدر الله- فإنه يمكن تجنبها أو التقليل منها بشكل كبير بأكثر من سبيل ونهج، مثل متابعة حالة السد بانتظام وصيانته بشكل دوري، وإنشاء نظام للإنذار المبكر، وتجهيز خطط واقعية للإجلاء والإغاثة، وإعداد خرائط خاصة بأماكن الحماية والإيواء، وغير ذلك مما يساعد على إدارة الأزمة بكفاءة وفاعلية وقت حدوثها والحد من الخسائر المتوقعة، وفي كل الأحوال ندعو الله ألا يتحقق أي من تلك المخاوف، وأن يكتب السلامة والأمان للجميع.

السدود ليست كلها جيدة. المشاكل لا تعني أن السد ممتاز أو سيئ. في بعض الأحيان عليك الاختيار بين خيارين. تواجه المشروعات واسعة النطاق عموماً مشكلات. كل سد لديه مشاكل. ومع ذلك، هناك في كثير من الأحيان العديد من المزايا.

إن كارثة السد الليبي الكارثية هي بمنزلة إنذار للسدود القديمة الأخرى في جميع ليبيا والعالم، مع التأكيد على أنه ربما إزالتها كاملة هي أفضل خيار في المجتمعات [2].

#### سدود مدينة سرت

بناءً على تقرير [8] أعده فريق من جامعة سرت بعد الكارثة التي تسبب فيها انهيار السدود في مدينة درنة، لمعرفة الحالة الإنشائية للسدود المشادة حول مدينة سرت والمتمثلة في سد وادي جارف وسد الزيد وسد الغريبات، بعد ان أصبحت السدود مصدر قلق وخوف للمواطنين في جميع أنحاء ليبيا. وملخص عن فحوى التقرير كان كالتالي:

**سد الغريبات:** التقرير أشار إلى حالة الإهمال والتلف الذي يعانيه السد، حيث تم ملاحظة العديد من المشاكل في هيكل السد وحوض التخزين والمفيض والجهة الشمالية ومجرى الوادي تم تحديد أن البلاطات الخرسانية تعاني تشققات وأضرار جسيمة في فواصلها وتحتاج إلى صيانة فورية كما تم رصد انخفاض في سعة حوض التخزين بسبب الترسبات الطينية والحفريات داخله وهناك مشكلات في الآبار المغذية للمياه ومعالجة المفيض بسبب التعديات الواضحة ويجب على السلطات اتخاذ إجراءات عاجلة لصيانة السد وحمايته من التدمير وإصلاح الأضرار في هيكله.

سد وادي الزيد: التقرير أشار إلى أنه يعاني الإهمال والتلف في بعض الأجزاء تم اكتشاف وجود حاجز ركامي يوازى السد الرئيس لحجز مياه الأمطار و يستخدم السد الرئيس الآن لتخزين مياه النهر الصناعي فقط ويحتاج لتنظيف وصيانة ألتكسيه الحجرية وبرج التصريف الخرساني و تحتاج الفواصل بين البلاطات إلى معالجة وإصلاح عاجل وتحتاج فَنْحَة تصريف المياه إلى فتح المفيض يحتاج إلى صيانة عاجلة بسبب تدهور الخرسانة والاعتداءات من قبل المواطنين إضافة لوجود بناء عشوائي في مسار المفيض تم إغلاق فتحات تصريف الأمطار في اتجاه جنوب السد لحماية بعض الكوابل وتم تنظيف الفتحات في شمال السد بشكل تطوعي من قبل الأهالي.

سد وادي جارف: التقرير أشار إلى أن الجهة الشرقية للسد تحتاج إلى صيانة كبيرة للتكسية الخرسانية وبرج تصريف المياه، كما توجد مخلفات وقمامة في حوض التخزين أما بالنسبة للجهة الغربية فتعاني أضرار جسيمة في الفواصل بين البلاطات الخرسانية والمعبئة بمادة البيتومين، وقناة برج التصريف مليئة بالحشائش والأتربة أما المفيض يحتاج إلى إعادة ترميم وإصلاحات فورية، وتم إغلاق جميع فتحات تصريف الأمطار على قمة السد.

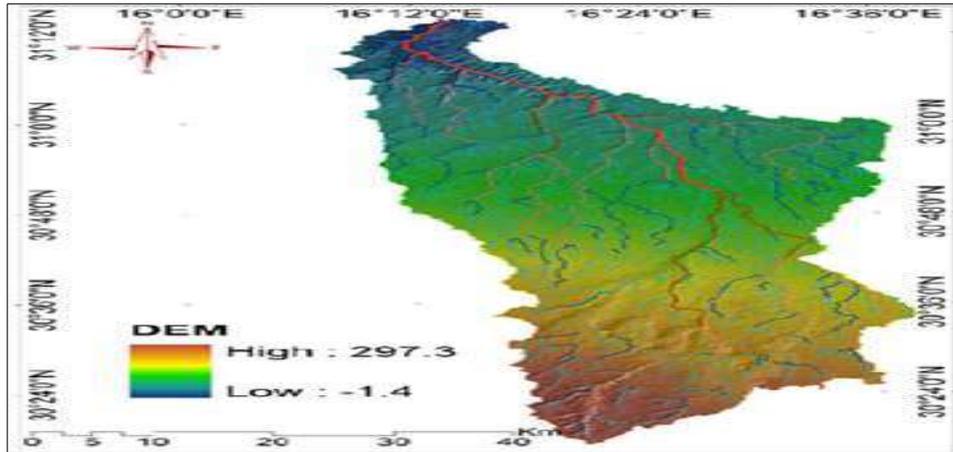
عموماً، تحتاج هذه السدود إلى التنظيف والصيانة العاجلة تَقَادِيَا للأضرار اللاحقة نتيجة لقلّة أو انعدام الصيانة الدورية، والتخريب، والنهب الواضح، وتعرضها للعوامل الجوية لسنوات طويلة. مما أدى إلى إغلاق معظم الفتحات التصريف واختفاء المادة العازلة للفواصل بين البلاطات.

### محاكاة هيدرولوجية لسدود أودية المنطقة الوسطى (جارف -الزيد - الغربيات)

تم عمل محاكاة هيدرولوجية للسدود اعتماداً على التحليل الإحصائي لبيانات الأمطار اليومية المتاحة من عام 1954 حتى 2010 لمحطة سرت وذلك لتحديد العلاقة بين أقصى عمق مطر يومي وسنوات التكرار بين 5-100 سنة وتطبيق نموذج المحاكاة (Watershed Modeling System WMS-8.1) لمحاكاة الجريان السطحي لوادي جارف ووادي الزيد والغربيات لتجنب الفيضانات المستقبلية لمدينة سرت وكذلك للتحقق من قدرة السدود الموجودة عليها لفترة تكرار 100 سنة.

### 1. سد وادي جارف

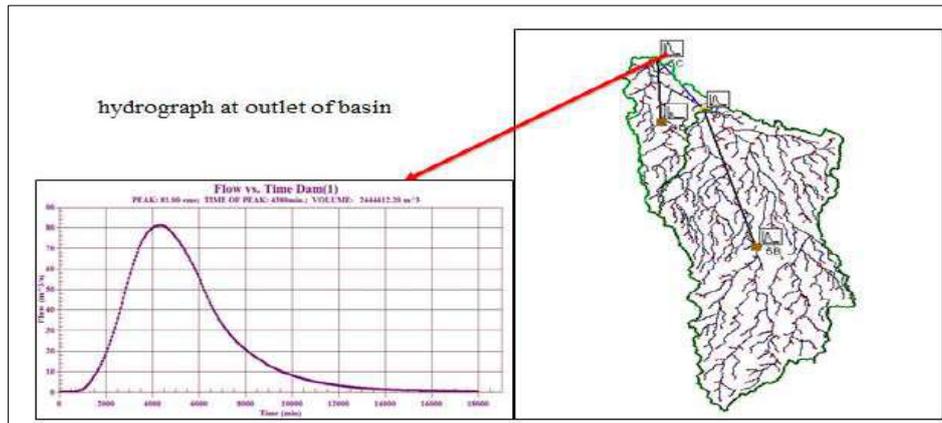
وادي جارف هو أحد أودية المنطقة الوسطى، يقع بين دائرتي عرض ( $31^{\circ}14'10''$  -  $30^{\circ}07'40''$ ) شمالاً وخطي طول ( $16^{\circ}38'30''$  -  $16^{\circ}07'00''$ ) شرقاً ويغطي مساحة قدرها 2746 كم<sup>2</sup> حسب الشكل (1)، ويلاحظ أن الوادي منحدر من الجنوب الشرقي، وطويل ومتفاوت العمق، حيث يتسع في مساحته وعمقه في مكان وضيقة في مكان إلى آخر. حيث يتراوح منسوب الوادي من 297m إلى 1.4m.



الشكل (1): النموذج الرقمي لسد لودي جارف.

تم عمل الرفع المساحي للسد للحصول على ارتفاع وطول السد حيث وجدت البيانات متطابقة مع القراءات من Google Earth Pro، حيث يبلغ ارتفاعه 9 متر وطوله 690 متر.

تم في هذه الدراسة تقدير الجريان السطحي في وادي جارف باستخدام البيانات الطبوغرافية والمناخية للفترة (1954-2010). يمثل الشكل (2) موقع النقاط التي تم حساب التفرغ فيه.



الشكل (2): هيدروغرافية الخروج من حوض وادي جارف

الجدول (3,2) يعرضان خصائص هندسية وهيدرولوجية لحوض تصريف وادي جارف. ويتضح من الجدول أن مساحة الحوض تبلغ 2317.02 كم<sup>2</sup> وطول الحوض 87313 م. وزمن تركيز الحوض هو 27.18 ساعة. كما

يظهر أن الحد الأقصى لذروة التصريف هو  $81 \text{ م}^3/\text{ثانية}$ ، ووقت وصول السيول لذروة التصريف والذي يستغرق حوالي 4380 دقيقة حتى يصل الجريان إلى الذروة القصوى.

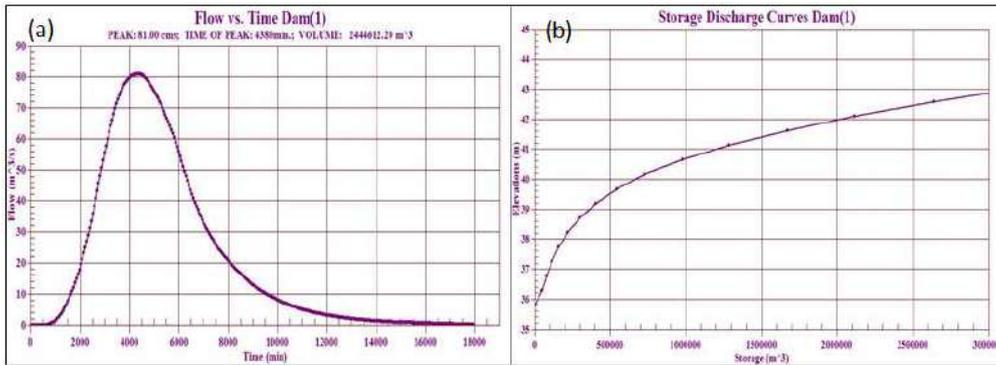
جدول (2): الخصائص الهندسية لوادي جارف

BASIN ID	UTM		BASIN GEOMETRIC PROPERTIES		
	E	N	A (km <sup>2</sup> )	BS (m/m)	Length (m)
DAM (1)	625519.2	3437995.5	2317.02	0.007	87313

جدول (3): الخصائص الهيدرولوجية لوادي جارف

SIN ID	CN	HYDROLOGICAL PROPERTIES			
		T <sub>lag</sub> (hr)	T <sub>c</sub> (hr)	Q (M <sup>3</sup> /Sec)	T <sub>p</sub> (min)
DAM (1)	70	73.45	27.18	81	4380

تم الحصول على الهيدروغراف عند مخرج الوادي حسب عمق هطول الأمطار عند فترة عودة 100 سنة كما هو مبين في الشكل (3-a). تم تطبيق (WMS) عند مخرج الحوض لإنشاء منحني سعة التخزين، وتظهر العلاقة بين الارتفاع وسعة التخزين المقابلة لها في الشكل (3-b)، من منحني التخزين لارتفاع السد = 9 موجدت السعة الحجمية للمحاكاة خلف السد = 2.44 مليون م<sup>3</sup> عند المستوى = 42 م، وهذا يوضح ان السد قادر على تحمل سعة تخزينية تصل الى 3 مليون م<sup>3</sup> تقريبا لفترة عودة 100 سنة كما موضح في الجدول (4).



الشكل (3): (ب) منحني سعة التخزين عند موقع السد (أ) هيدروغرافية الحوض

جدول (4): الحجم التخزيني لسد وادي جارف

Basin ID	Dam height (m)	Simulation volume (Mil m <sup>3</sup> )
DAM (1)	9	2.44

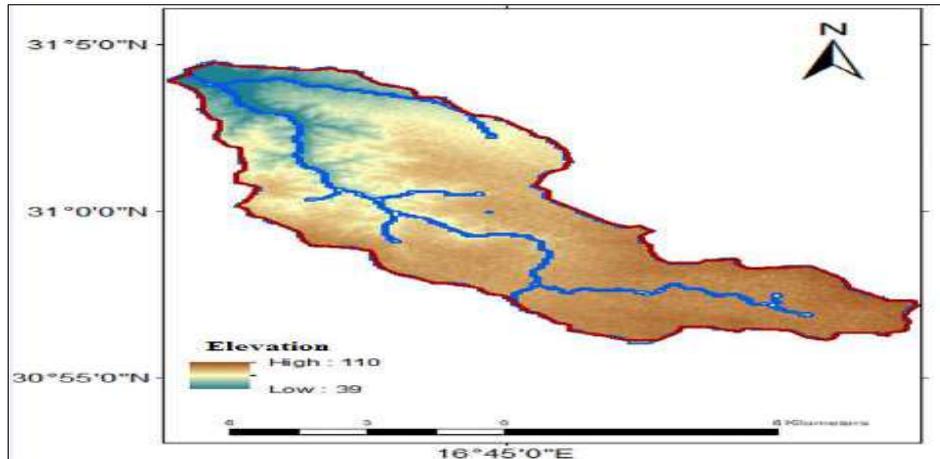
من خلال المحاكاة الشكل 4 يبين حجم ومكان البحيرة المتكونة خلف السد لوادي جارف، ولو حدث أي فيضان سوف يغمر المكان بالكامل حيث يوجد مزارع ومساكن، وايضاً مرفق صور للمياه في الوادي لأمطار سنة 2017 ويتبين ضرر بعض ممتلكات المواطنين.



الشكل (4): البحيرة خلف سد وادي جارف من المحاكاة ومناظر للسد ممتلئ في عام 2017

## 2. سد وادي الزيد

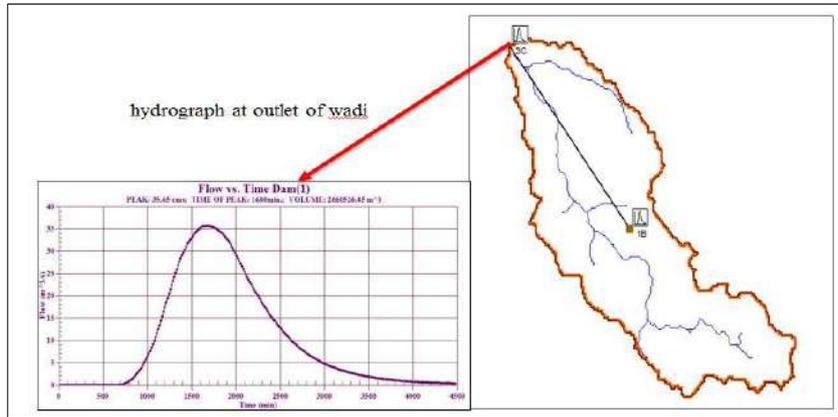
وادي الزيد هو أحد أودية المنطقة الوسطى، يقع بين دائرتي عرض (31°05' - 30°55') شمالاً وخطي طول (16°40' - 16°52') شرقاً حسب الشكل (5) ويغطي مساحة قدرها 94.6 كم<sup>2</sup>، ويلاحظ أن الوادي منحدر من الجنوب الشرقي. حيث يتراوح منسوب الوادي من 110م الى 39م.



الشكل (5): النموذج الرقمي لسد الزيد

تم عمل الرفع المساحي للسد للحصول على ارتفاع وطول السد حيث وجدت البيانات متطابقة مع القراءات من Google Earth Pro، حيث يبلغ ارتفاعه 7 م وطوله 502م.

تم في هذه الدراسة تقدير الجريان السطحي في وادي جارف باستخدام البيانات الطبوغرافية والمناخية للفترة (1954-2010). يمثل الشكل (6) موقع النقاط التي تم حساب التفريغ فيه.



الشكل (6): هيدروغرافية الخروج من حوض وادي الزيد

الخصائص الهندسية والهيدرولوجية لحوض تصريف وادي الزيد معروضة في الجداول (5,6). ويتضح من الجدول أن مساحة الحوض تبلغ 94.6 كم<sup>2</sup> وطول الحوض 23403 م. وزمن تركيز الحوض هو 8.38 ساعة. كما يظهر أن الحد الأقصى لذروة التصريف هو 35.65 م<sup>3</sup>/ثانية، ووقت وصول السيول لذروة التصريف والذي يستغرق حوالي 1680 دقيقة حتى يصل الجريان إلى الذروة القصوى.

جدول (5): الخصائص الهندسية لوادي الزيد

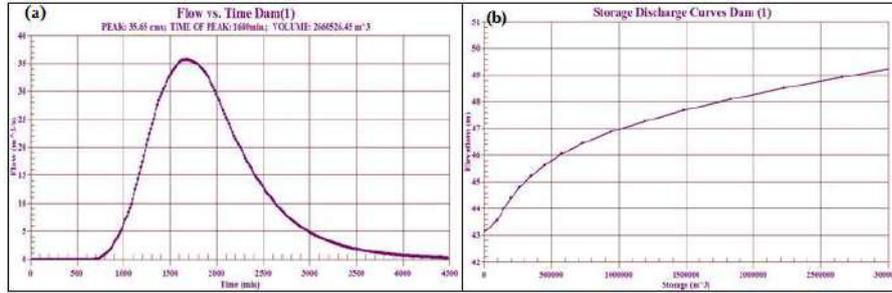
BASIN ID	UTM		BASIN GEOMETRIC PROPERTIES		
	E	N	(km <sup>2</sup> ) A	(m/m) BS	(m) Length
DAM (2)	.46660876	343883.49	94.6	0.0120	23403

جدول (6): الخصائص الهيدرولوجية لوادي الزيد

BASIN	CN	HYDROLOGICAL PROPERTIES			
		(hr) T <sub>lag</sub>	(hr) T <sub>c</sub>	(M <sup>3</sup> /Sec) Q	(min) T <sub>p</sub>
DAM (2)	70	73.45	27.18	35.65	1680

تم الحصول على الهيدروغراف عند مخرج الوادي حسب عمق هطول الأمطار عند فترة عودة 100 سنة كما هو مبين في الشكل (7-a). تم تطبيق (WMS) عند مخرج الحوض لإنشاء منحني سعة التخزين، وتظهر العلاقة بين الارتفاع وسعة التخزين المقابلة لها في الشكل (7-b)، من منحني التخزين لارتفاع السد = 6 موجدت السعة

الحجمية للمحاكاة خلف السد = 2.66 مليون م<sup>3</sup> عند المستوى = 49م، وهذا يوضح ان السد قادر على تحمل سعة تخزينية تصل الى 3 مليون م<sup>3</sup> تقريبا لفترة عودة 100 سنة كما موضح في الجدول (7).

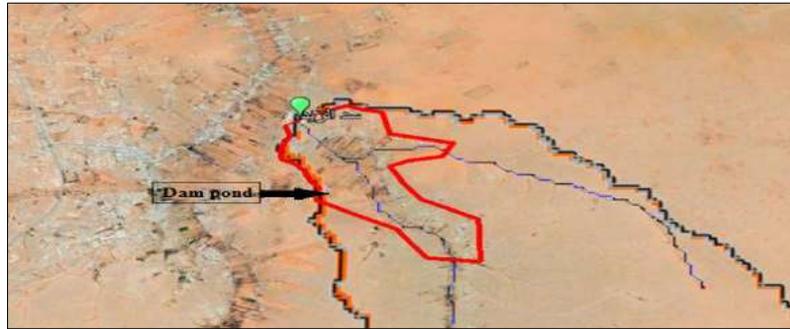


الشكل (7): (ب) منحنى سعة التخزين عند موقع السد (أ) هيدروغرافية الحوض

جدول (7): الحجم التخزيني لسد وادي الزيد

Basin ID	Dam height (m)	Simulation volume (Mil m <sup>3</sup> )
DAM (2)	7	2.66

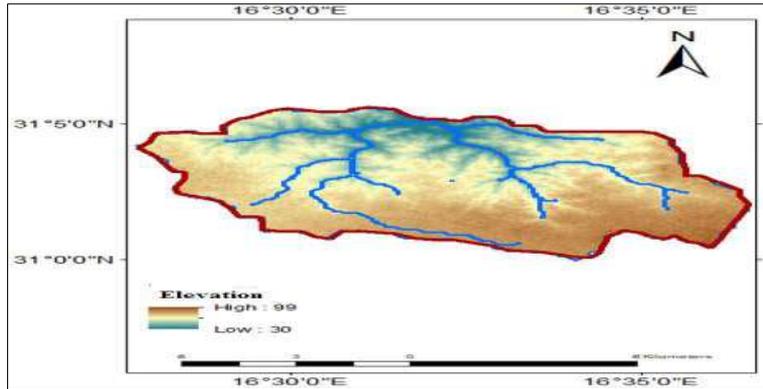
ومن خلال المحاكاة تبين لنا حجم ومكان البحيرة المتكونة خلف السد لوادي الزيد حيث يتبين أن مكان تجمع الماء خلف السد لو حدث أي فيضان سوف يغمر المكان بالكامل حيث يوجد مزارع ومساكن كما موضح بالشكل (8).



الشكل (8): البحيرة خلف سد وادي الزيد من المحاكاة

### 3. سد وادي الغربيات

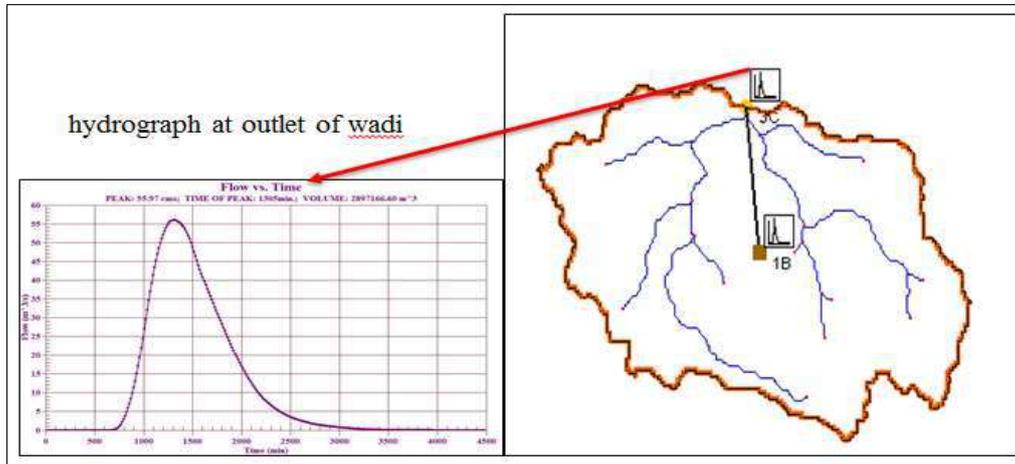
وادي الغربيات هو أحد أودية المنطقة الوسطى، يقع بين دائرتي عرض (31°05' - 30°59') شمالاً وخطي طول (16°27' - 16°36') شرقاً حسب الشكل (9) ويغطي مساحة قدرها 2746 كم<sup>2</sup>، يتراوح منسوب الوادي من 99م الى 30م.



الشكل (9): النموذج الرقمي لسد الغربيات

تم عمل الرفع المساحي للسد للحصول على ارتفاع وطول السد حيث وجدت البيانات متطابقة مع القراءات من Google Earth Pro، حيث يبلغ ارتفاعه 7 م وطوله 506م.

تم في هذه الدراسة تقدير الجريان السطحي في وادي الغربيات باستخدام البيانات الطبوغرافية والمناخية للفترة (1954-2010). يمثل الشكل (10) موقع النقاط التي تم حساب التفرغ فيه.



الشكل (10): هيدروغرافية الخروج من حوض وادي الغربيات

الجدول (9,8) يظهران الخصائص الهندسية والهيدرولوجية لحوض تصريف وادي الغربيات. ويتضح من الجدول أن مساحة الحوض تبلغ 98.38 كم<sup>2</sup> وطول الحوض 14448م. وزمن تركيز الحوض هو 5.7 ساعة. كما يظهر أن الحد الأقصى لذروة التصريف هو 55.97م<sup>3</sup>/ثانية، ووقت وصول السيول لذروة التصريف والذي يستغرق حوالي 1305 دقيقة حتى يصل الجريان إلى الذروة القصوى.

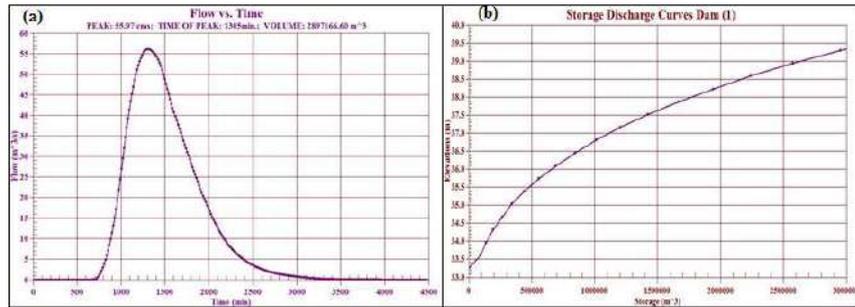
جدول (8): الخصائص الهندسية لوادي الزيد

BASIN ID	UTM		BASIN GEOMETRIC PROPERTIES		
	E	N	(km <sup>2</sup> ) A	(m/m) BS	(m) Length
DAM (3)	.0646290	3440340.0	98.38	0.0170	14448

جدول (9): الخصائص الهيدرولوجية لوادي الزيد

BASIN	CN	HYDROLOGICAL PROPERTIES			
		(hr) T <sub>lag</sub>	(hr) T <sub>c</sub>	(M <sup>3</sup> /Sec) Q	(min) T <sub>p</sub>
DAM (3)	70	8.4	5.7	55.97	1305

تم الحصول على الهيدروغراف عند مخرج الوادي حسب عمق هطول الأمطار عند فترة عودة 100 سنة كما هو مبين في الشكل (11-a). تم تطبيق (wms) عند مخرج الحوض لإنشاء منحنى سعة التخزين، وتظهر العلاقة بين الارتفاع وسعة التخزين المقابلة لها في الشكل (11-b)، من منحنى التخزين لارتفاع السد = 7 موجدت السعة الحجمية للمحاكاة خلف السد = 2.89 مليون م<sup>3</sup> عند المستوى = 39 م، وهذا يوضح ان السد قادر على تحمل سعة تخزينية تصل الى 3 مليون م<sup>3</sup> تقريباً لفترة عودة 100 سنة كما موضح في الجدول (10).



الشكل (11): (ب) منحنى سعة التخزين عند موقع السد (أ) هيدروغرافية الحوض

جدول (10): الحجم التخزيني لسد وادي الغربيات

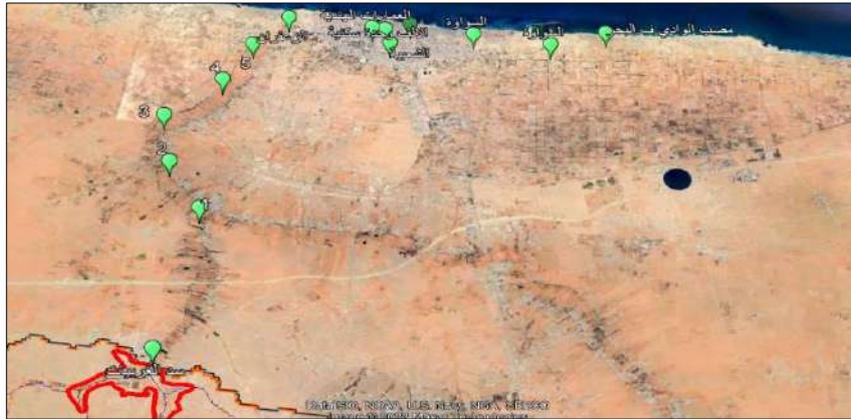
Basin ID	Dam height (m)	Simulation volume (Mil m <sup>3</sup> )
3DAM	7	892.

ومن خلال المحاكاة يتبين لنا حجم ومكان البحيرة المتكونة خلف السد حيث يتبين ان مكان تجمع الماء خلف السد لو حدث أي فيضان سوف يغمر المكان بالكامل حيث يوجد مزارع ومساكن كما موضح بالشكل (12).



شكل (12): البحيرة خلف سد وادي الغربيات من المحاكاة ومناظر للسد ممتلئ في عام 2017.

الشكل (13) يوضح مسار وادي الغربيات في حالة حدوث فيضان للوادي إذا تجاوز الهطول المطري 100 ملم في اليوم والذي يمر بسرت ابتداء من الغربيات، الزعفران، العمارات الهندية، الالف وحدة سكنيه، الشعبية ورقم 3 وينتهي الفيضان في السواوة حيث يصب ف البحر، هذا سيحدث إذا لم يتم عمل قناة مباشرة علي البحر في منطقة الزعفران.



الشكل (13) يوضح مسار وادي الغربيات في حالة حدوث فيضان للوادي لو قدر الله

#### الخاتمة

يوصي بالفحص الكامل والدقيق لجميع سدود مدينة سرت باستخدام التقنيات الحديثة، والصيانة العاجلة لها لوجود العديد من الإضرار بمكوناتها، وإزالة جميع العوائق في مجرى الواديان، أو دراسة أزلتها بالكامل في حال عدم الصيانة وذلك لما قد تسببه من أضرار في الأرواح والممتلكات في حال انهيارها.

يعدّ سد وادي الغربيات من السدود القريبة لمدينة سرت الذي يشكل خطراً إذا تجاوز نسبة هطول الأمطار فيه 100 ملم/اليوم، إضافة الي سدي وادي الزيد ووادي جارف لذلك من المهم أخذ جميع تدابير الحماية والاحتياطات اللازمة للمواطنين خصوصا الذين يسكنون ف مجرى الوادي وبالقرب منه، كذلك يجب ابلاغ المواطنين بالإخلاء في حالة زاد الهطول عن هذا المعدل. ففي حالة تصدع أو انهيار سد مثلا-لا قدر الله فإنه يتوقع أن تدهم أول موجة فيضان للمياه المتدفقة من السد سكان الوادي المقام عليه السد والمناطق المحيطة والمدينة ولا سيما المناطق المنخفضة منها في غضون ساعات فقط، وهي مدّة تعدّ غير كافية لإجلاء جميع السكان واتخاذ الإجراءات الاحتياطية والاحترازية اللازمة، ولا سيما في ظل عدم توافر نظام إنذار مبكر حالياً.

ويمكن تجنب أو التقليل من حجم الكارثة بشكل كبير بأكثر من سبيل ونهج، مثل متابعة حالة السد بانتظام وصيانته بشكل دوري، إنشاء نظام للإنذار المبكر والعمل على جر المياه عبر قنوات صناعية إلى البحر، وتجهيز خطط واقعية للإجلاء. والإغاثة، وإعداد خرائط خاصة بأماكن الحماية والإيواء، وغير ذلك مما يساعد على إدارة الأزمة بكفاءة وفعالية وقت حدوثها والحد من الخسائر المتوقعة.

وفي حال تعذر الصيانة وعدم وجود جدوى منها ولا سيما لتخزين المياه واستخدامها، الأفضل إزالة هذه السدود بعد دراسة التكاليف والفوائد من جهات نظر مختلفة. بالإضافة ألي الفوائد البيئية والاجتماعية، كذلك النظر في الآثار الاقتصادية أيضا.

## المراجع

- 1- دافيد فو، ليبيا. مأساة مدينة درنة، كارثة إنسانية قبل أن تكون طبيعية، مقالة مترجمة من الفرنسية ترجمه حميد العربي، موجودة على الموقع الإلكتروني. <https://orientxxi.info/magazine/article6992>، تاريخ الدخول 06 ابريل 2024.
- 2- وحيد محمد مفضل، السدود أنواعها ومخاطر تصدعها أو إنهيارها، 2017، مقالة موجودة على الموقع الإلكتروني. <http://www.aljazeera.net>، تاريخ الدخول 04 ابريل 2024.
- 3- إزالة السدود: إطلاق العنان للأنهار: فوائد إزالة السدود، مقالة موجودة على الموقع الإلكتروني <https://fastercapital.com/arabpreneur/>، تاريخ الدخول 06 ابريل 2024.
- 4- سدود درنة - تاريخ وكوارث وإهمال، مقالة موجودة على الموقع الإلكتروني <https://lana.gov.ly/post.php>، تاريخ الدخول 07 ابريل 2024 .
- 5- نيويورك تايمز: انهيار سدي درنة صيحة تحذير للعناية بالسدود حول العالم.. مخاطر في الصين والهند وأمريكا، مقالة موجودة على الموقع الإلكتروني <https://arabi21.com/story>، تاريخ الدخول 07 ابريل 2024.
- 6- ما قبل «دانيال»: دراسة ليبية توقعت كارثة درنة وطالبت بحماية السكان وصيانة السدود، مقالة موجودة على الموقع الإلكتروني <https://alwasat.ly/news/libya>، تاريخ الدخول 08 ابريل 2024.

- 7- صاحب إنذار «انهيار» السدين في درنة: فقدت أفرادا من عائلتي.. والدولة تجاهلت التحذيرات، مقالة موجودة على الموقع الإلكتروني <https://alwasat.ly/news/libya>، تاريخ الدخول 08 ابريل 2024.
- 8- تقييم السدود المحيطة بمدينة سرت، تقرير فني قدم لجامعة سرت من قبل نخبة من الأساتذة والمهندسين من جامعة سرت (غير منشور)

## متانة المباني الخرسانية في مدينة سرت (دراسة حالات)

د. محمد علي عبد الله الصغير<sup>1</sup>، عبد الناصر عبد الله بلحاج<sup>2</sup>، سعيد عبد الله المحجوب<sup>3</sup>

1 عضو هيئة تدريس قسم الهندسة المدنية والمعمارية، سرت، ليبيا

2،3 مهندس مدني، سرت، ليبيا

drmohammedalsger@gmail.com

### المخلص

تؤثر الظروف البيئية السائدة في المدن الساحلية الليبية على متانة المباني الخرسانية، إذا لم يتم توفير الحماية اللازمة لها من التآكل، الرطوبة، درجة حرارة الهواء، تشبع التربة بالكوريد والكبريتات. لم يتخذ المقاولون وأصحاب المنازل خلال السبعينيات والثمانينيات الاحتياطات اللازمة أثناء تصميم وإنشاء المباني الخرسانية لمقاومة البيئة المحلية القاسية طوال العمر الافتراضي للمباني ولتجنب التدهور المبكر للخرسانة المسلحة وعواقب ارتفاع تكاليف الإصلاح، لكي يصل عمر المباني الخرسانية إلى 40 عاماً وفقاً لمعايير التصميم المعترف بها دولياً. تهدف هذه الورقة إلى معرفة مدى الأضرار التي لحقت بالمباني الخرسانية في مدينة سرت بمختلف مناطقها. وخلصت نتيجة البحث إلى أن العديد من المباني تضررت نتيجة تغلغل الكبريتات والكوريدات في الخرسانة وخاصة في المباني الحديثة، نتيجة لاستخدام إحدى مكونات الغير مطابق للمواصفات الهندسية في صناعة البناء.

الكلمات الدالة: متانة، الخرسانة، اختبارات، صدا حديد التسليح، الكبريتات والكوريدات، الكريئة.

### المقدمة

متانة الخرسانة هي مصطلح يستخدم لوصف مقاومة الخرسانة لمجموعة متنوعة من الهجمات الفيزيائية أو الكيميائية التي يمكن أن تختلف في شدتها اعتماداً على مكان وكيفية تنفيذ الخرسانة وغيرها من العوامل. تشمل التأثيرات الفيزيائية التي تؤثر سلباً على المتانة تآكل السطح، والتشقق بسبب ضغط تبلور الأملاح في المسام، والتعرض لدرجات الحرارة القصوى مثل الصقيع أو النار. تشمل التأثيرات الكيميائية الضارة ترشيح عجينة الأسمنت عن طريق المحاليل الحمضية والتفاعلات التوسعية التي تنطوي على هجوم الكبريتات، وهجوم الركام القلوي، وتآكل الفولاذ في الخرسانة.

تعتمد متانة الخرسانة إلى حد كبير على خصائص معينة مثل المكونات والغطاء والضغط والمعالجة. إن متانة الخرسانة تحكمها قسوة الظروف البيئية التي تتعرض لها طوال فترة خدمتها.

عندما تكون الظروف البيئية التي ستعرض لها الخرسانة خلال فترة خدمتها محددة بشكل جيد، تقع على عاتق المهندس مسؤولية تصميم الخليط الخرساني واختيار المواد لتوفير الخصائص المطلوبة التي تتناسب الظروف البيئية للهيكل على أفضل وجه. تم تطوير أسمنت بورتلاندي مختلف وتقنيات مختلفة لبيئات معينة ويجب استخدامها بشكل مناسب [1]. ترتبط المتانة ارتباطاً وثيقاً بجميع سمات الخرسانة الأخرى: التصميم الهيكلي والمواد والتصنيع وظروف التعرض البيئية. تتمتع ليبيا بمناخ حار، مما يجعل اختيار المواد وتصميم الخلطات وإنتاج الخرسانة أمراً

صعباً للغاية. تعتمد جميع إجراءات إنتاج وصب الخرسانة في ليبيا على الخبرة الحالية في البناء الخرساني في المناطق الساخنة والمعلومات من أجزاء أخرى من العالم ذات مناخات مماثلة. [1,2,3,4].

إن متانة الخرسانة تحكمها خصائص المواد وجودتها، ومراقبة جودة الخلط والصب، وقسوة الظروف البيئية التي تتعرض لها طوال عمرها. شهدت صناعة البناء والتشييد في ليبيا تغيرات هائلة على مر العقود. في أوائل الخمسينيات من القرن الماضي، عندما كانت ليبيا تتعافى من آثار الحرب العالمية الثانية والاحتلال الإيطالي، ولم تكن الخزائن الوطنية قد امتلأت بعد بعائدات النفط وكانت الأموال محدودة، كان البناء على نطاق محدود، واعتبره غالبية السكان بمثابة مغامرة. نشاط اجتماعي، وتم نقل المهارات المختلفة اللازمة من جيل إلى جيل، باستخدام مواد البناء المحلية الأصلية [5].

منذ السبعينيات، استثمرت ليبيا مبالغ ضخمة في تطوير بعض القطاعات الاقتصادية الرئيسية، بما في ذلك صناعة البناء والتشييد، والتي كان يُنظر إليها على أنها حيوية للتنمية الشاملة للأمة وبنيتها التحتية. وأدى ذلك إلى زيادة كبيرة في مشاريع البناء. شاركت شركات القطاعين العام والخاص في طفرة البناء الوطنية هذه، والتي شهدت بناء المساكن الاجتماعية والمدارس والمستشفيات والمباني التجارية وغيرها من المنشآت التي تشتد الحاجة إليها [5].

في عام 2011، أجرى عبد الله شكري وعادل جيلاني [6] دراسة على خمسة موانئ بحرية تجارية وصناعية رئيسية على طول ساحل ليبيا. تم تقييم جودة الخرسانة في الأجزاء المدروسة بشكل دقيق، بما في ذلك الفحوصات البصرية وإجراء العديد من اختبارات الخرسانة الميدانية والمعملية، ومباني الدراسة كانت من الغرب إلى الشرق الليبي وتختلف المواصفات حسب جوانب التصميم والبناء لكل منشأة. وقد وجدوا أسباباً عديدة لتدهور خرسانة الموانئ المدروسة. وترتبط الأسباب الرئيسية باستخدام مواد غير مناسبة، وسوء الممارسات، وعدم كفاية مواصفات المشروع، مما أدى إلى هجوم الكلوريدات على معظم العناصر وبالتالي تآكل قضبان التسليح.

شهدت مدينة سرت في سبعينيات القرن الماضي تطوراً هائلاً في تشييد المباني، سواء المباني السكنية أو الحكومية مثل المدارس والبنوك وبعض المؤسسات الحكومية، إلا أن هذا التطور عانى من بعض المشاكل المتعلقة بمتانة الخرسانة، كما لوحظ أن هناك بعض المؤشرات التي تشير إلى ضعف أداء الخرسانة وذلك لعدة عوامل تتعلق بمتانة المنشآت الخرسانية. بدأت هذه الدراسة بالحصول على معلومات حول تشييد المباني الخرسانية من المهندسين والمقاولين الذين عملوا في الفترة السبعينيات إلى التسعينيات، التقى الباحثون بالمقاول فرج بن حسين الذي عمل في سبعينيات القرن العشرين في صناعة البناء، وقدم معلومات عن الطرق المستخدمة في البناء والمواد المستخدمة وخط الخرسانة. كان البناء في تلك الفترة يعتمد بشكل أساسي على العمالة، وكان يتم استخراج الركام من أطراف المدينة وتكسيه يدويا في الموقع، ويتم خلط المواد بواسطة آلة خلط صغيرة، وكانت النسبة عبارة عن عربة رمل (رمل البحر) وعربة ركام وكيس الأسمنت (50 كجم). كان الاسمنت مستورد (للأسف نسي اسم الماركة)، ومصدر المياه كان الآبار الجوفية (بئر العريشية وبئر أبو هادي)

كذلك تحصل المهندس مفتاح احمد مفتاح على معلومات من المهندس المهدي ابوغرسة الذي عمل أيضاً في تلك الفترة في صناعة البناء كما هو مبين في الجدول (1) أدناه [7]:

جدول (1): معلومات عن إنشاءات المباني الخرسانية بمدينة سرت في سبعينيات وثمانينات القرن الفائت.

المشروع	نوع الماء المستخدم	مصدر الركام	هل هناك دمك؟	المعالجة	اختبارات للخرسانة	مضافات للخرسانة؟ وما سبب استخدامها؟
تنفيذ رصيف بوسط المدينة بالقرب من مصرف الوحدة	مياه بحر	40 كم غرب سرت	لا يوجد	لا يوجد	في الموقع	لا يوجد
فندق المدينة عام 1981 م تم تنفيذه من قبل شركة كورية	مياه بئر جوفي معالجة		الدمك بالهزازات	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد
مشروع 700 وحدة سكنية تنفيذ مجموعة من المقاولين	مياه النهر الصناعي		لا يوجد	معالجة بالرش	يوجد	مسرعات
مشروع 1000 وحدة سكنية تنفيذ شركة تركية بداية التسعينات			الدمك بالهزازات			-----
مديرية امن سرت بداية الثمانينات تنفيذ شركة وطنية	مياه جوفية (بئر بن سعود)		-----	لا يوجد		-----
مدرسة عقبة بن نافع تنفيذ مقال عام 1974	مياه جوفية		-----	-----		
مشروع 600 وحدة سكنية تنفيذ شركة الجزيرة المصرية	مياه جوفية (بئر بن سعود)		-----	-----	المعالجة بالقماش	تحقق نظري فقط
مشروع 400 وحدة سكنية تنفيذ شركة الجزيرة المصرية الموقع بالجزيرة العسكرية سكن ثلاثة أدوار بالإضافة إلى سكن دور واحد عام 1976 م	-----		-----	-----	معالجة بالرش	-----
المجمع الإداري بسرت تنفيذ الشركة الوطنية في عام 1979م	-----		-----	-----	لا يوجد معلومات	-----

لتحديد المشاكل التي تؤثر على متانة الخرسانة في مدينة سرت، تم إجراء اختبارات المتانة مع الفحص الميكانيكي لهيكل الخرسانة مختار في مبنى قديم وكذلك في مبنى خرساني جديد تدهور بشكل خطير.

### الحالة الدراسية الأولى

تمت دراسة منزل يقع بالمنطقة السكنية الأولى بمدينة سرت قريب جداً من البحر، تم بناء المنزل عام 1972 ويعود ملكيته للسيد محمد الفقي، والذي تكرم بالسماح لأجراء الاختبارات عليه. تأثر المنزل بالحروب التي شهدتها المدينة منذ عام 2011، ومن العلامات الواضحة وآثار الحرب حدوث انهيار في السقف نتيجة انفجار قذيفة، وكذلك تعرض العناصر الخرسانية لأشعة الشمس المباشرة ودورات الترطيب والتجفيف ورذاذ مياه البحر كما موضح بالشكل (1)، كما هو الحال في كانت أعمدة الطابق الثاني والتي كانت متدهورة بشدة، كما كانت العناصر الخرسانية المحمية أقل تدهوراً وخاصة في الطابق الأرضي.

تم إجراء ثلاث اختبارات على المنزل وهي: اختبار الكثافة والامتصاص والفراغات في الخرسانة المتصلبة واختبار الكرنبة وكذلك اختبار اللب لدراسة خواص الخرسانة.



الشكل (1): يوضح اعلي المنزل وموقعه بالقرب من البحر

تم إجراء اختبارات الكثافة والامتصاص والفراغات في الخرسانة المتصلبة [8] وهي مفيدة في تطوير البيانات المطلوبة للتحويلات بين الكتلة والحجم للخرسانة ويستخدم لتحديد مدى مطابقة الخرسانة لمواصفاتها وإظهار الاختلافات من مكان لآخر داخل كتلة الخرسانة الجدول 2 يوضح نتائج هذه الاختبارات.

الجدول (2) نتائج اختبارات الكثافة والامتصاص والفراغات في الخرسانة المتصلبة

رقم العينة	(1)	(2)	(3)
الامتصاص بعد الغمر %	9.16	8.9	8.6
الامتصاص بعد الغمر والغليان %	9.35	9.04	8.9
الكثافة الظاهرية الجافة ملغ/م <sup>3</sup>	1.845	1.97	1.88
الكثافة الظاهرية بعد الغمر ملغ/م <sup>3</sup>	3.73	2.15	2.04
الكثافة الظاهرية بعد الغمر والغليان ملغ/م <sup>3</sup>	2.02	2.15	2.05
الكثافة الظاهرة ملغ/م <sup>3</sup>	4.14	2.4	2.26
حجم الفراغات المسامية المنفذة %	17.29	17.91	16.81

حسب الكود ASTM C642-21 حجم الفراغات المسامية المنفذة للخرسانة الجيدة للغاية يجب ان تكون (4-5) % من الكتلة، والخرسانة الجيدة جدًا يجب ان تكون (5-6) %، والخرسانة التجارية النموذجية يجب ان تكون (6-7) %، والخرسانة "العادية" يجب ان تكون (7-10) %.

وبما أن أقل نسبة للفراغات كانت 16%، فإن ذلك يفسر سبب تآكل حديد التسليح في عمود في سطح المنزل الذي تم أخذ العينات منه، كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (2): تدهور الخرسانة وصدأ حديد التسليح

تم اجراء اختبار الكربنة لعينات خرسانية، وهي عملية ينتشر فيها ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي من خلال الغطاء الخرساني المسامي تؤدي هذه العملية إلى انخفاض قيمة الرقم الهيدروجيني من 12.5 إلى 13.5 إلى حوالي 8 إلى 9، مما يؤدي إلى إبطال الطبقة الواقية لقضبان التسليح ويبدأ تأكلها [9].

في هذا الاختبار، تم تحديد عمق الكربنة وهو يعتمد على رتبة ونفاذية الخرسانة، وما إذا كانت الخرسانة محمية أم لا، وعمق الغطاء، والوقت، وما إلى ذلك.

بما ان المنزل يقع بالقرب من البحر، وبعد إجراء اختبار الكربنة على السطح والأعمدة الداخلية والخارجية وتبين أن الأعمدة الخارجية هي الجزء الأكثر تآكلاً في المنزل، وذلك بسبب تعرضها للرطوبة العالية ورذاذ مياه البحر حسب الصور التالية.



الشكل (3): عمود خارجي مواجه للبحر



الشكل (4): اختبار الكربنة على سطح خرساني مكشوف حديثاً



الشكل (5): الاختبار على عينة لب الخرسانة المستخرجة حديثاً

تم اجراء اختبار اللب الخرساني، ويعد طريقة اختبار مشهورة جدًا وراسخة لقوة الضغط للخرسانة المتصلبة. يتيح اختبار اللب الخرساني إجراء فحص بصري للمناطق الداخلية للعنصر الخرساني والذي يرتبط أيضًا بتقدير القوة، يتيح أيضًا تقييم الخصائص الأخرى للهيكل الخرساني المسلح عن طريق اختبار قلب الخرسانة.

حسب الجداول 3 و4 تم استخراج العينة (1) من عمود داخلي، وبالقرب من العمود كان هناك أثر لاصطدام قنبلة، وأثناء الاختبار تعرضت العينة للكسر، وهذا ما يفسر انخفاض قوة الضغط للعينة.

ورغم أن الأعمدة والبلاطة كانت جيدة في اختبار الانضغاط، وأن العناصر الداخلية محمية إلى حد ما من الظروف الجوية وأن المنزل قريب من البحر، إلا أن سوء توزيع الركام وارتفاع نسبة الفراغات في العناصر الخارجية تأثير الهيكل بشكل كبير على متانة الخرسانة، ويمكن تبرير ذلك بسبب عدم معرفة طريقة الخلط الصحيحة في ذلك الوقت.



الشكل (6): عينة لب خرساني من عمود



الشكل (7): عينة لب خرساني من السقف

الجدول 3: شرح تفاصيل عينات اللب الخرسانى

رقم العينة	صورة العينة	وصف العينة
(1) عمود داخلي		التدرج الحبيبي جيد والتوزيع الحبيبي جيد والنسبة الإجمالية جيدة ولا يوجد فراغات
(2) عمود خارجي		التوزيع الحبيبي جيد والنسبة الكلية جيدة والتدرج الحبيبي جيد ويوجد فراغات ويوجد كسر طولي
(3) بلاطة السقف		التوزيع الحبيبي ضعيف ومعدل الركام منخفض جداً التدرج الحبيبي جيد لا يوجد به فراغات ويوجد كسر أفقي موازي لحديد التسليح

الجدول 4: مقاومة الضغط للعينات

رقم العينة	مقاومة الانضغاط للخرسانة (MPa)	ابعاد العينة (مم)
1	13.75	97 x 100
2	25.47	130 x 100
3	24.44	105 x 100

#### الحالة الدراسية الثانية

تمت دراسة منزل يقع في منطقة الشعبية بمدينة سرت تم بناءه عام 2005 كطابق ثاني. وقد وافق صاحب المنزل الدكتور إبراهيم لامين على السماح للباحثين بأخذ عينات وإجراء الفحوصات على المنزل.

ويعاني المنزل من تساقط خرسانة البلاطات في جميع حجرات المنزل كما بالشكل 8، وصدأ في حديد التسليح. كما توجد ترسبات ملحية واضحة جدا بالعين الجردة،

وأفاد د. إبراهيم أنه عند بناء المنزل لا يعلم مصدر المياه المستخدمة في خلط الخرسانة وهل هي صالحة للاستخدام كماء للخلط. وكذلك نوه د. إبراهيم الي انه تم جلب الطوب المستخدم في بلاطة السقف من مدينة قريبة من مدينة سرت، وكانت هذه المدينة تستخدم المياه المالحة لخلط الكتل الخرسانية كما ذكر في ذلك الوقت.



الشكل (8): تساقط خرسانة البلاطات

الملاحظة الأولى للباحثين هي أن مصدر الماء المستخدم في الخرسانة غير المعروف وقد يحتوي على نسبة عالية من الكلوريدات أو الكبريتات، ولكن كان هناك جزء من البلاطة تم صبه بلاطة مصمتة، ولم يكن بها أي مشاكل مقارنة بالبلاطة المتدهورة. وهنا تم استبعاد ان مصدر الاملاح مياه الخلط. وبعد إلقاء نظرة فاحصة، لاحظ الباحثون أن الطوب كان ذو لون شاحب، وعندما يتم الضغط عليه باليد قليلاً ينكسر بسهولة.



الشكل (9): لون الطوب واختبار الكبريتة عليه



الشكل (10): تآكل حديد التسليح

تم إجراء اختبارات تحديد نسب الكلوريدات والكبريتات على أجزاء من خرسانة وبلوك المنزل. تم إجراء هذه الاختبارات بمساعدة أ. حسن عبد المولى عضو هيئة تدريس من كلية الزراعة بجامعة سرت.

تعد أيونات الكلوريد من الأسباب الرئيسية لتآكل الفولاذ في الهياكل الخرسانية المسلحة. هناك حاجة إلى تحديد محتوى الكلوريد في الغطاء الخرساني وبالقرب من حديد التسليح لتقييم خطر التآكل [10]. ونتائج الاختبار تم عرضها في الجدول 5.

الجدول (5): النسبة المئوية لمحتوى الكلوريد

العينة	محتوي الكلوريد (%)
طوب	0.17
خرسانة	0.8

طبقاً لكود ACI 318-95 الذي ينص على أن الحد الأقصى لمحتوى الكلوريد القابل للذوبان في الماء في الخرسانة المسلحة المعرضة للكلوريد في الخدمة هو 0.15%، الطوب (بلوك الهوردي) تجاوز هذا الحد، لكن البلاطة لا بأس بها، وكانت تلك هي الملاحظة الأولى للباحثين لأن لون الطوب كان مختلفاً تماماً عن الطوب المعتاد.

يعد الهجوم بالكبريتات أحد أكثر القضايا جاذبية لأبحاث متانة الخرسانة خاصة في البيئة البحرية والبنية تحت الأرض. قد يؤدي اختراق أيونات الكبريتات إلى الأسمنت البورتلاندي العادي (OPC) إلى سلسلة من مشاكل المتانة مثل التشقق والتشطي وزيادة النفاذية وفقدان القوة.

على الرغم من أن أسمنت سلفوألومينات الكالسيوم (CSA) يتمتع بمقاومة أفضل لهجوم الكبريتات بسبب عدم وجود البورتلانديت في منتج الترطيب الخاص به، إلا أنه عندما تتخرق أيونات الكبريتات داخل أسمنت CSA، فإن محتوى أيون الكبريتات سيزداد بشكل مستمر. بمجرد أن يصل تركيز أيونات الكبريتات على سطح الفولاذ إلى 0.02 أو 0.03 مول/لتر، يبدأ تآكل فولاذ التسليح. ونتائج اختبار الكبريتات تم عرضها في الجدول 6.

جدول (6): نسبة الكبريتات

العينة	الكبريتات (%)
طوب	0.24
بلاطة	0.02

حسب متطلبات ACI للخرسانة المعرضة للمحاليل المحتوية على الكبريتات والتي تنص على أن نسبة محتوى الكبريتات القابلة للذوبان في الماء في ظروف التعرض المعتدلة تتراوح من 0.1 إلى 0.2%.

مرة أخرى، تجاوز الطوب الحد المسموح به، وذلك بسبب المياه المستخدمة في إنتاج الطوب.

إن وجود نسبة عالية من الكلوريدات والكبريتات في الطوب أثر على متانة الخرسانة بشكل كبير، وبما أن الخرسانة مادة مسامية فإن محتوى الكلوريد والكبريتات ينتقل من الطوب إلى الخرسانة عبر المسام مما أدى إلى تساقط خرسانة الاعصاب الخرسانية وانهيار البلاطات.

### الخاتمة

بناء على دراسة حالتي المبنيين الخرسانيين في مدينة سرت، هنالك أسباباً عديدة لتدهور الخرسانة، وترتبط الأسباب الرئيسية باستخدام مواد غير مناسبة، وسوء الممارسات وعدم حماية العناصر الخرسانية من الظروف البيئية المحيطة، مما أدى إلى هجوم الكبريتات والكلوريدات على معظم العناصر الخرسانية وبالتالي تآكل قضبان التسليح وتساقط الخرسانة. لذلك يجب الأخذ في الاعتبار عند بناء المباني الخرسانية متانة الخرسانة، وخاصة الناجمة عن سوء اختيار مواد البناء ومراقبة الجودة بالإضافة إلى المشاكل الأخرى أثناء عملية البناء، خاصة عند اختيار المواد وخط وصب ودمك واخيرا معالجة الخرسانة.

لذلك يجب الأخذ بحزم في تغيير تكنولوجيا الجودة والبناء قبل أي اتجاه للحصول على أعلى درجة من الرقابة، ولذلك يجب تطبيق مراقبة جودة أداء الخرسانة أثناء عملية البناء المحددة بشكل دائم.

عند الانتهاء من البناء الخرساني، يجب أن يتم التوضيح للمالك الخدمة المناسبة للصيانة المستقبلية للحصول على ديمومة الخرسانة، وكذلك والصيانة الوقائية التي توفر الأساس النهائي لتحقيق زيادة المتانة وعمر الخدمة للهيكل الخرسانية في ظل الظروف لكل مدينة ليبية، خاصة ان لكل منطقة متطلباتها الخاصة بالمتانة، على سبيل المثال، المنطقة الجنوبية ذات المناخ الجاف متطلبات المتانة ليست بذات الأهمية للمنطقة الشمالية ذات المناخ الرطب.

### المراجع

1. Durability of concrete in Cyprus Joseph Michael PEKRIS 2004.
2. <https://theconstructor.org/concrete/factors affecting durability concrete/1115/?amp=1>
3. Performance of concrete in a coastal environment, Maher A Bader,2003, Cement and Concrete Composites.
4. Design of Concrete Structures for Durability Madehlzat Hamakareem, <https://theconstructor.org/concrete/design of concrete structures for durability>.
5. <https://libyanheritagehouse.org/industry/libya-construction-industry>.
6. Durability of Marine Concrete in Libya – Field Study on Five Seaports, Abdalla O. Elshukry Adel M. Gilani. International Conference on Durability of Building Materials and Components PORTO – PORTUGAL, April 12th–15th, 2011

7. Durability of concrete structures in Sirte city Mofteh Ahmeed Abosoba, Phs thesis, 2021
8. ASTM C642-21 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.
9. <https://www.ircen.gov.in/LAB/res/html/Test-34.html>. IS-516(Part 5/Sec 3):2021 "Part 5 Non-Destructive Testing of Concrete- Section 3 Carbonation Depth Test".
10. Soil, water and plant analysis, part 2, soil chemical analysis, prof. Dr. Zakaria M. Elsirafy.

## التقييم الإنشائي وإعادة التأهيل لمبنى تعرض لتشوهات إنشائية (كلية الطب جامعة سبها)

## كحالة دراسية)

عثمان ابوبكر الحضيبي<sup>1</sup>، محمد الكيلاني يحيى<sup>2</sup>، هدى عبدالسلام عزاقة<sup>3</sup>

1، 2 استاذ مساعد، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة سبها، ليبيا

3 مهندسة بإدارة المشروعات، جامعة سبها، ليبيا

moh.yahya@sebhou.edu.ly

## المخلص

مشكلة تصدع المباني الخرسانية أصبحت منتشرة بكثرة في الآونة الأخيرة، وهذا يتطلب توجيه النظر إلى دراستها ومعرفة أسبابها وطرق علاجها وصيانتها لتقويتها ودعمها ومنعها من الوصول إلى مرحلة الانهيار. تناولت هذه الدراسة مشكلة التصدعات في المباني الناتجة عن فشل العناصر الإنشائية للمبنى والتي قد تؤدي إلى انهيار المبنى، حيث أجريت دراسة حقلية فعلية لمبنى كلية الطب بجامعة سبها الذي حصل له تشوه وتصدعات في الكمرات الرئيسية الحاملة للسقف. اشتملت منهجية البحث على الفحص المبدئي الميداني والذي شمل الفحص البصري والتأكد من وجود التشققات وكذلك فحص مبدئي للتربة حول الاساسات وفواصل التمدد والبحث عن أي علامات تدل على هبوط التربة أو تغير حول الاساسات كما تضمن البحث اجراء بعض الاختبارات والقياسات الميدانية المتاحة حيث استخدمت أدوات القياس مثل المتر ومقياس ليزري لقياس مقدار الهطول (deflection) والتحقق من ابعاد بحور المجازات وابعاد مقاطع الاعمدة وسمك البلاطة والعناصر الإنشائية المختلفة لمطابقتها لاحقا بالخرائط التصميمية. كذلك تم ملاحظة الاحمال الواقعة على الاسقف وإجراء إختبارات الضغط بمطرقة شميدت كما تم عمل مسابر إختبار في أماكن متعددة لرصد إستمرارية التشوه. في هذه الدراسة تم التعرف على السبب الرئيسي للهبوط الحاصل في المبنى وتم وضع عدة حلول لدعم المبنى والحد من زيادته، حيث ان هذه الحلول تضمنت تصورا آمنا لاستخدام المبنى للحد من الخسائر التي قد تنتج عن إنهاره وكذلك الخسائر الناتجة عن إزالة المبنى وإعادة بنائه. من نتائج هذه الدراسة عدم الاعتاء بالتحليل والتصميم الإنشائي وعدم الدقة في التنفيذ وعدم الالتزام بالموصفات والمخططات وكذلك عدم الالتزام بعمل الاختبارات اللازمة للتربة والاساسات والمواد إضافة إلى عدم مراجعة المهندس المشرف لتصاميم بعض الأجزاء الرئيسية وغياب الصيانة الدورية، كل ذلك يؤدي إلى تصدعات وتشوهات في عناصر المنشأ. وخلص البحث اخيرا إلى جملة من الحلول لحماية المبنى من الإنهيار وعدد من التوصيات المهمة.

كلمات دالة: تشوهات إنشائية، إنهار المباني، اختبارات إنشائية، اسباب الهبوط، طرق العلاج.

## 1. المقدمة

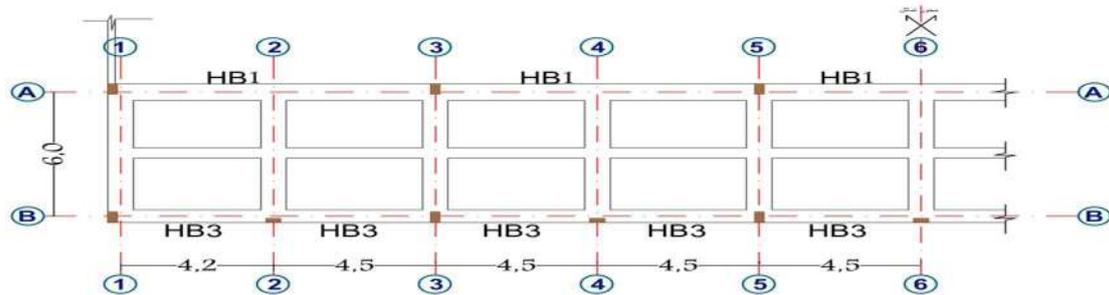
تعتبر الخرسانة مادة قوية لمقاومة قوى الضغط ولكنها ضعيفة جدا عند تعرضها لقوى الشد، عندما تتعرض العتبة الخرسانية إلى عزم انحناء زائد فإن الجانب المشدود يتعرض إلى اجهادات تقود الخرسانة في تلك المنطقة إلى

التشقّق ثم إلى الإنهيار كما ان منطقة الضغط قد تصل إلى حد الفشل نتيجة اجهادات الضغط إذا تجاوزت هذه الاجهادات حد الانضغاط. يعد العمق الفعال لأي عتبة عاملاً حاسماً في التأثير على هذا السلوك، فإذا كان العمق الفعال للعتبة الخرسانية صغيراً فإن انحنائها سيكون أكثر حدة وستتعرض الخرسانة إلى إجهاد كبير يتجاوز قدرتها مما يسبب تشوهاً لنا مصحوباً بتشققات عميقة يصل فيها فولاذ التسليح إلى حد الخضوع وتقوم العزوم بإعادة توزيع نفسها ليتشكل بعد ذلك ما يسمى بالمفصلة اللدنة. يشير مفهوم المفصلة اللدنة في العتبة إلى موقع محدد يحصل فيه تشوه (لدن) كبير مما يعني ان هذه التشوه يبقى بشكل دائم بسبب تأثير عزوم الانحناء العالية، ويمكن ان يحدث هذا في كل من العتبات البسيطة والمستمرة إلا أن العتبات المستمرة تكون أكثر قدرة واستقراراً على إعادة توازن نفسها بما يعرف بإعادة توزيع العزوم إذ يتشكل في العتبة المستمرة عزوم إنحناء تكون إيجابية وسلبية حسب ظروف التحميل والاسناد، لذلك فإن تشكل هذه المفصلات في عتبة مستمرة لا يؤدي بالضرورة إلى الإنهيار، ولكن يصبح الهيكل أقل صلابة ويعيد توزيع الاجهادات الداخلية الناشئة فيه [1]. تهدف هذه الورقة إلى دراسة أسباب التشوهات في العتبات الخرسانية الساندة لسقف مبنى كلية الطب بجامعة سرت حيث ظهرت آثار تشوهات غير مريحة أثناء استخدام المبنى أدت إلى سقوط بعض طبقات اللباسة وظهور بعض التشققات في المبنى مما يتطلب الامر البحث والتدقيق في أسباب نشوئها وطريقة معالجتها.

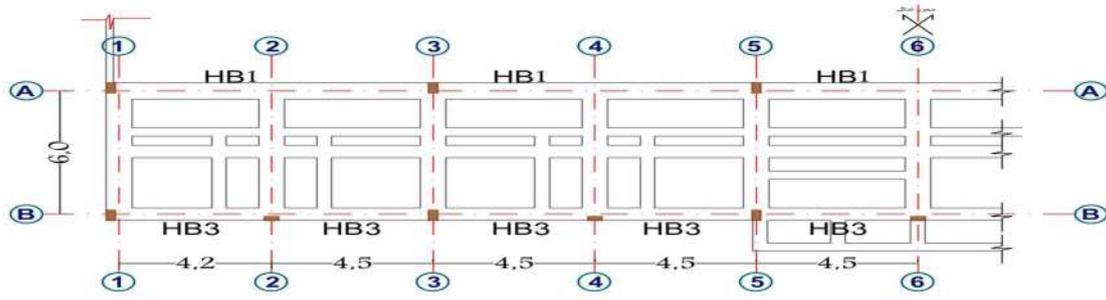
## 2. الدراسة الميدانية

### 1.1.2. وصف المبنى:

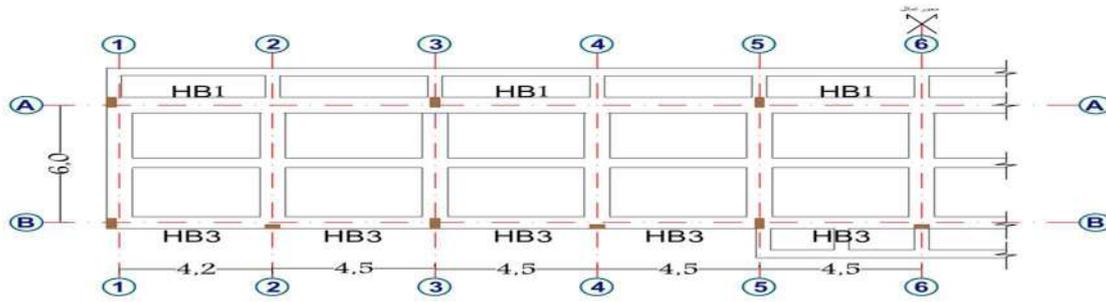
المبنى عبارة عن ملحق جديد أضيف ليكون ملاصقاً للمبنى القديم القائم لكلية الطب، حيث تم اضافته لاحقاً لمبنى الكلية الرئيسي كتوسعة وتشغيله منذ حوالي عشر سنوات وهو يتكون من ثلاثة طوابق، متوسط مساحة الطابق حوالي 550 متر مربع مقسم إلى 5 قاعات دراسية مسقوفة ببلاطة هوردي أحادية الاتجاه مسنودة على أعمدة وعتبات مجازاتها تصل في أحد الجوانب (العتبة HB1 شكل 1 و 2 و 3) إلى 9 متر. ظهرت في هذه العتبات تشوهات أدت إلى سقوط بعض الأجزاء من طبقة اللباسة إضافة إلى تشققات في جدران المباني المقامة في الطابق الثالث إضافة إلى تشوهات في أرضيات الطوابق العليا، والاشكال (1)، (2)، (3) توضح المساقط الافقية لعتبات السقف للطوابق الثلاثة للمبنى.



شكل (1): المسقط الافقي لعتبات الطابق الأرضي



شكل (2): المسقط الافقي لعتبات الطابق الأول



شكل (3): المسقط الافقي لعتبات الطابق الثاني

## 2.2. الفحوصات المبدئية والعملية:

من خلال الفحوصات المبدئية البصرية والعملية التي أجريت على المبنى تبين الآتي:  
 أ- حصول تشوهات كبيرة على العتبة الرئيسية الملاصقة للمبنى القديم ومنتشرة على خط محوري واحد (العتبة HB1)، وهي تشوهات لدنة وتتراوح بين 5سم إلى 7سم في منتصف المجاز كما هو موضح في الشكل (4).



قياس التشوه في منتصف العتبة



قياس التشوه في بداية العتبة

شكل (4) التشوه النسبي الحاصل بين بداية ومنتصف العتبة

ب- لا وجود لتشققات واضحة أو بارزة على السطوح الخارجية أو على طبقات اللياسة الخارجية في أغلب العتبات أو حتى في قطاع خرسانة العتبات المشوهة (ما تحت اللياسة) في مناطق الشد، مما قد يرجح عدم وصول فولاذ التسليح إلى حد الخضوع. وبالرغم من ذلك سيتم التحقق حسابيا من كمية التسليح في القطاعات الحرجة حتى لا يتم اللجوء إلى الاختبارات الاتلافية تقاديا لإلحاق أي ضرر إضافي للقطاعات المتضررة.

ت- لوحظ وجود تشققات كبيرة على الجدران في الطابق الثالث وأن هذه التشققات مستمرة ببطء وتم ملاحظة ذلك من خلال مسابر الاختبار الملصقة على الشقوق والتي تم وضعها لرصد استمرارية التشقق حيث انفصلت أو تشققت جميعها كما ان شهادة شاغلي المكان تؤكد استمرارها.

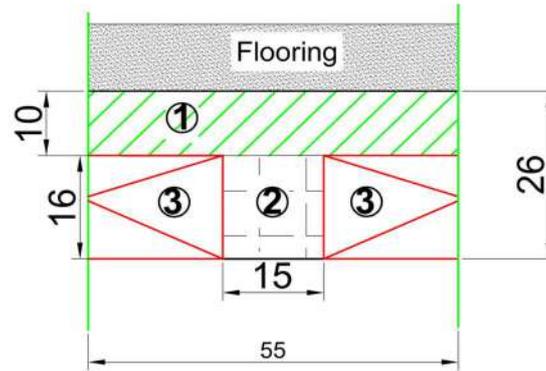
ث- تم اختبار مقاومة الضغط للخرسانة في عدة مواقع من المبنى للعتبات والاعمدة وكانت نتائج الاختبار كالتالي:

أ- متوسط مقاومة خرسانة الاعمدة للضغط  $f_c' = 22 \text{ MPa}$

ب- متوسط مقاومة خرسانة العتبات للضغط  $f_c' = 22 \text{ MPa}$

### 3.2. الفحص الإنشائي للمبنى:

تم اجراء التحليل الإنشائي لهيكل المبنى ومن ثم مراجعة التصاميم ودراسة نتائجها مع مقارنة هذه النتائج بالجداول المرفقة مع الخرائط المنفذة على ارض الواقع وفقا لفرضيات التحليل والتصاميم المبينة في الاشكال والجداول التالية، حيث يوضح الشكل (5) قطاع العصب في بلاطة السقف، والجدول (1) يبين الاحمال التصميمية المستخدمة لمبنى تعليمي.



الشكل (5): قطاع العصب المنفذ في بلاطة السقف

جدول (1): الاحمال التصميمية المستخدمة لمبنى تعليمي

Dead Load	Materials	Area(m <sup>2</sup> )	Density (kN/m <sup>3</sup> )	Wight (kN/m)
	Concrete (1)	0.10*0.55	24	1.32
	Concrete (2)	0.15*0.16	24	0.576
	Block (3)	0.40*0.16	5	0.32
	Flooring	-	-	1.534
<b>Live Load</b>	<b>3 (kN/m<sup>2</sup>)</b>			

أما أبعاد وتسليح القطاعات الخرسانية المستخدمة في التنفيذ أخذت من الخرائط التنفيذية كما بالجدول (2) و(3) و(4).

جدول (2): تسليح الاعمدة

الكانات	التسليح	الأبعاد		نموذج
		عرض	طول	
Ø6mm@20cm	8Ø16	25	60	C1
Ø6mm@20cm	6Ø16	25	40	C2

جدول (3): تسليح عتبات الدور الارضي

الكانات	التسليح			الأبعاد		نموذج
	علوي	مكسح	سفلي	عرض	طول	
Ø8mm@20cm	5Ø14	5Ø16	6Ø16	26	80	HB1
Ø8mm@20cm	5Ø14	5Ø14	6Ø14	26	70	HB2
Ø6mm@20cm	5Ø12	4Ø14	5Ø14	26	60	HB3
Ø6mm@20cm	4Ø12	3Ø14	4Ø14	26	50	HB4

جدول (4): تسليح عتبات الدور الاول والثاني

الكانات	التسليح			الأبعاد		نموذج
	علوي	مكسح	سفلي	عرض	طول	
Ø8mm@20cm	5Ø14	5Ø16	6Ø16	26	80	HB1
Ø8mm@20cm	5Ø14	5Ø14	6Ø14	26	70	HB2
Ø6mm@20cm	5Ø12	4Ø14	5Ø14	26	60	HB3
Ø6mm@20cm	4Ø12	3Ø14	4Ø14	26	50	HB4
Ø6mm@20cm	2Ø14	2Ø16	3Ø16	26	40	HB5

## 3. الخصائص الميكانيكية للخرسانة وفولاذ التسليح

لم يرد في خرائط المبنى القيم التصميمية لمقاومة الخرسانة وفولاذ التسليح، لذلك سيتم استخدام القيمة المتحصل عليها من اختبار مطرقة شميدت لمقاومة الخرسانة اما مقاومة فولاذ التسليح سيتم فرضها طبقا لمواصفات مصنع الحديد مصراتة حسب الاتي:

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

حيث:  $f_y$  قيمة مقاومة فولاذ التسليح المستخدمة

باستخدام الفرضيات المبينة في الفقرات السابقة تم اجراء تقديرات مبدئية لأبعاد القطاعات المستخدمة وفق الكود الأمريكي ACI 318-11 [2] الفقرة 9.5.2.2 جدول 9.5 (a) والتي تعطي الحد الأدنى للعمق الفعال للسيطرة على التشوه حيث وجد ان العمق المستخدم لقطاع البلاطة صغير جدا لمقاومة التشوه ولا يطابق ما جاء في هذه الفقرة من الكود حيث يحدد الكود اقل عمق للقطاع في حال استمرارية البحر من جهة واحدة وفق المعادلة رقم (1).

$$h = \frac{L}{18.5} \dots \dots \dots 1$$

وبالتالي فان اقل سمك يمكن استخدامه

$$h = \frac{9}{18.5} = 0.48 \text{ m} = 48 \text{ cm}$$

بينما السمك المستخدم في بلاطة السقف يساوي 26 cm وهو نفسه سمك العتبات الساندة لهذه البلاطة مما يستلزم اجراء تحقيق اخر للتشوه يعتمد على حساب التشوه الناتج من التحليل الانشائي وفق بروتوكول التحميل المستخدم لحساب الترخيم اللحظي (Short Term Deflection) والترخيم طويل المدى (Long Term Deflection) لاستخدام الاحمال بحيث لا يزيد هذا التشوه عن القيمة المحددة بالكود في الجدول 9.5(b) [2] حيث ان القيم المناسبة لتشوه سقف يسند عناصر غير انشائية لا تتأثر بالترخيم الكبير مثل قواطع من البلوك الاسمنتي و إكساءات الرخام العادي والدهانات العادية تعتبر هذه الاكساءات من النوع الذي لا يتأثر بالترخيم الكبير لذلك فان القيمة المثلى حسب متطلبات الكود تحقق بالمعادلة (2) التي تعطي الحد الأدنى من الترخيم

$$\Delta = \frac{L}{360} \dots \dots \dots 2$$

وبناء عليه فان أكبر ترخيم مسموح به

$$\Delta_{max} = \frac{9000}{360} = 25 \text{ mm}$$

يجب ان تكون هذه القيمة مساوية او اعلى من الترخيم الفعلي  $\Delta_{act}$

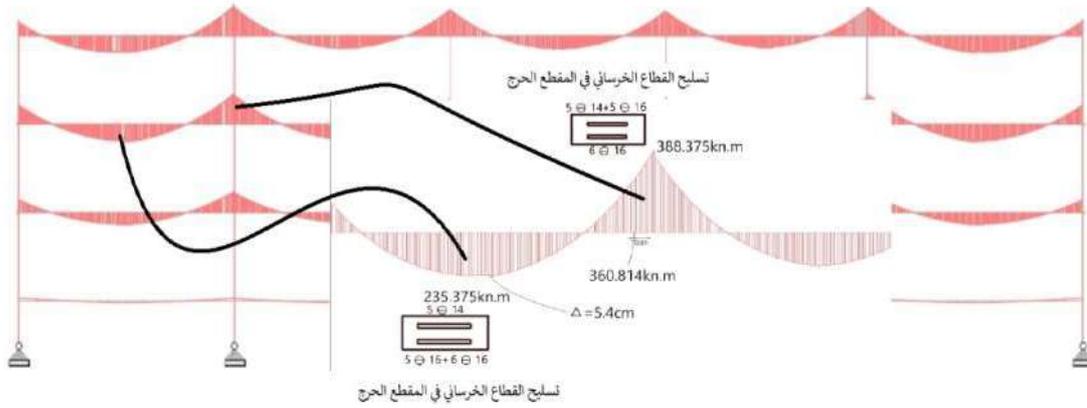
$$\Delta_{max} \leq \Delta_{act}$$

من خلال القياسات الواردة أعلاه والتي تبين من خلالها ان التشوهات الحاصلة في عتبات بلاطة السقف تعتبر تشوهات كبيرة تجاوزت الحد المسموح به وان صلاحية هذه العتبات لا تطابق الشروط والمواصفات المعمول بها في الكود الأمريكي من حيث الشروط الحاكمة في حساب التشوهات للأسباب المذكورة أعلاه، عليه فانه سوف يتم

التوجه إلى تقييم مدى مقاومة العتبة الأكثر تضررا وفق ابعادها وكمية تسليحها للنظر إلى إمكانية تجنب هدمها او ازالتها لذا سيتم اجراء التحليل الانشائي وتحديد المقاطع الحرجة المعرضة إلى أقصى عزوم انحناء وقص لتقييم هذه المقاطع وحساب أقصى طاقة تحمل يمكن الحصول عليه ومن ثم مقارنة النتائج.

#### 4. التحليل الانشائي للمبنى

تم اجراء التحليل الانشائي في ثلاثة ابعاد لكامل الهيكل حسب معايير وفرضيات التحليل المبينة في الجداول والاشكال السابقة وتم استخدام نفس توزيع الاعصاب المنفذة والمبينة في الاشكال (1)، (2)، (3) وباستخدام برنامج التحليل الانشائي الشهير ( STAAD CONNECT ) [3] يبين شكل (6) عزوم الانحناء المتحصل عليها من نتائج التحليل في المقاطع الحرجة لعزم الانحناء وقوة القص وأعلى سهم للترخيم في هيكل المبنى.



شكل (6) قيم العزوم والقص والتشوه في المقاطع الحرجة.

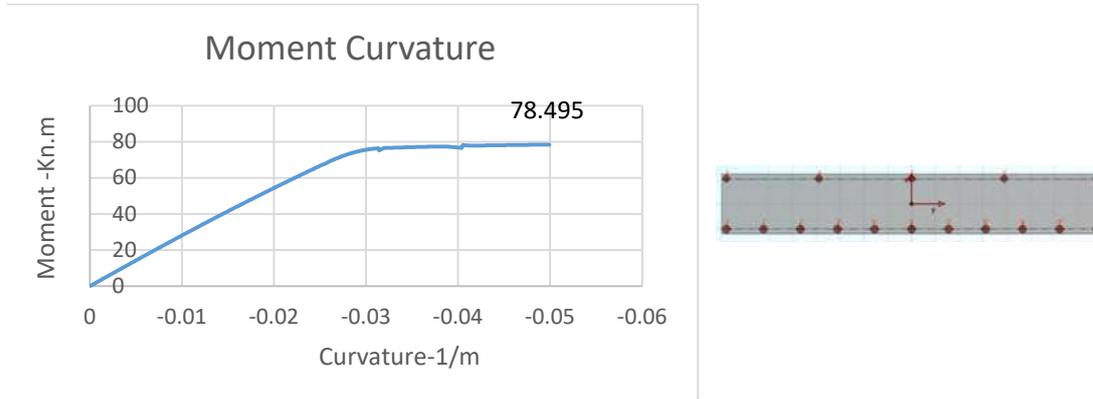
#### 1.4. حساب المقاومة القصوى للمقطع الحرج:

تم حساب المقاومة القصوى للمقطع الحرج عند وجه العمود و في وسط العتبة طبقا للكواد الأمريكي ACI-318 11 لمقطع ثنائي التسليح، حيث يبين الشكلان (7 و 8) تسليح المقاطع الحرجة وفق المنفذ من خرائط المبنى لأقصى عزمين سالب وموجب، وبإجراء التحليل لحساب قيمة المقاومة القصوى  $M_n$  للمقطعين لمقارنتهما بنتائج التحليل المعروضة بالشكل (6) يتبين ان ( $M_n = 92 \text{ kN.m}$ ) للمقطع الحرج المعرض لعزم موجب و  $M_n = 77.46 \text{ kN.m}$  للمقطع الحرج المعرض للعزم السالب عند وجه العمود. يلاحظ من خلال قيم العزوم المتحصل عليها من التحليل انها أكبر بكثير من المقاومة القصوى للعتبة وذلك بنسبة زيادة للمقطع المعرض للعزم الموجب 155.8% والمقطع المعرض للعزم السالب 365.8% مما يدل على ان العتبة كحكم مبدئي تعتبر غير صالحة للتشغيل ويتوجب معالجتها بشكل جوهري.

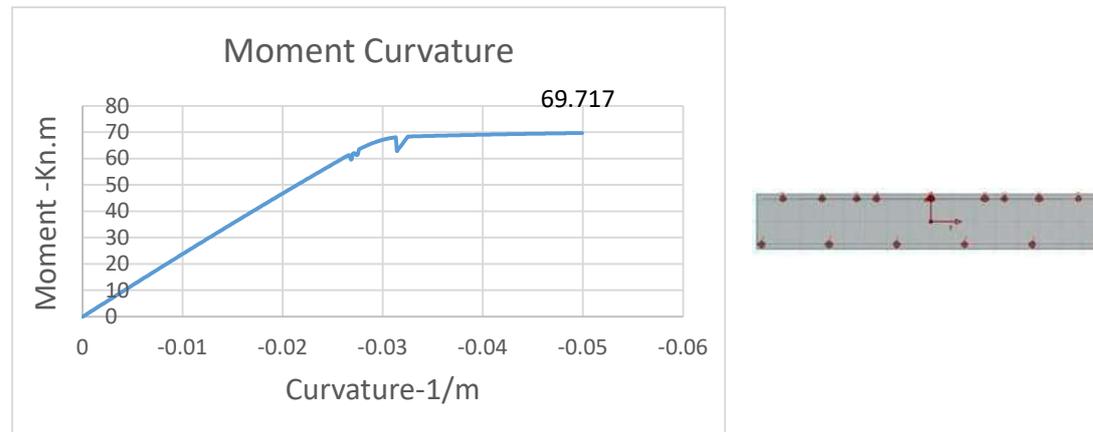
ولمعرفة المزيد حول الطاقة القصوى لسلوك العتبة عند المقطعين نظريا فانه يمكن استخدام العلاقة التي تربط بين عزم الانحناء والانحناء الزاوي ( $M-\Phi$ ) moment-curvature curve [4]، وبما ان مقاومة الخرسانة المستخدمة في المبنى منخفضة نوع ما فان ذلك قد يعطيها شيئا من المرونة يمكن رصده من العلاقة ( $M-\Phi$ ).

من أجل الحصول على هذه المنحنيات تم استخدام برنامج ( Engissol Cross Section Analysis and Design ) [5] حيث يوضح الشكل (7) و(8) العلاقة بين عزم الانحناء والانحناء الزاوي ( $M-\Phi$ ). وبمقارنة هذه المنحنيات بالسعة القصوى للمقطعين المعرضين للموجب والسالب نجد انها تظهر انخفاضا طفيفا عن قيم العزوم القصوى وربما يرجع ذلك إلى الخواص والفرضيات التي يعتمدها البرنامج في حساب المنحنى، كذلك هذه المنحنيات تظهر السلوك المرن وغير المرن للمقطعين إلى ان تصل إلى أعلى قيمة للعزم للادن الذي يفشل بعده المقطع فشلا تاما ليكون المفصل اللدن، تصل أعلى قيمة عزم لادن للمقطع المعرض لعزم موجب إلى 78.5 kN.m بنسبة فرق حوالي 17% عن السعة القصوى للمقطع التي تساوي (92 kN.m) كما ان قيمة العزم للادن للمقطع المعرض لعزم سالب تساوي 69.7 kN.m بنسبة فرق 11% عن سعته القصوى التي تساوي (Mn=77.46 kN.m).

عليه يتضح مما سبق ان مقاومة المقاطع الحرجة صغيرة جدا عن مقاومة العزوم المسلطة عليها وبالتالي تكون غير قادرة على تحمل هذه العزوم لذا تحتاج إلى إجراءات علاجية يجب اللجوء اليها بعد التحقق من عدم صلاحيتها.



شكل (7): تسليح المقطع الخرساني المعرض للعزم الموجب والعلاقة ( $M-\Phi$ ) له



الشكل (8): يوضح تسليح المقطع الخرساني المعرض للعزم السالب والعلاقة ( $M-\Phi$ ) له

### 5. الإجراءات الإصلاحية

تعتمد إجراءات الصيانة للعتبات المشوهة على اختيار الحل الأمثل الذي يمكن اختياره كإجراء يكون عمليا واقتصاديا. تم دراسة عدة حلول يمكن إجراؤها للإصلاح والصيانة هذه الطرق تختلف تكاليفها وطرق وتقنية تنفيذها مما يجعل اللجوء إليها قد يكون مكلفا، من هذه الحلول زيادة العمق الفعال بزراعة عتبة خرسانية عميقة تمتد على طول العتبة المشوهة HBI من فوق أو إسنادها بالكامل بعتبة معدنية عميقة من الأسفل بعد دفع البجور المشوهة لأعلى لإرجاعها إلى مستواها الأفقي بواسطة كريكات خاصة لهذا الغرض. ونظرا لضيق المجال وعدم التوسع في تفصيل طرق أخرى اقتصرنا في هذه الورقة على تلخيص أفضل طريقتين لأجراء الصيانة من حيث اقتصادية التكلفة وسهولة العمل وتوفر الامكانيات، هاتان الطريقتان تعتمدان على تقليل بحر العتبات بزرع عمود خرساني أو معدني ليصبح بحر العتبات الرئيسية 4.5 m بدلا من 9 m، هذا الحل يعتبر أضمن الحلول من حيث مناسبة العمق الفعال للعتبة HBI لهذا البحر، وتتمثل عمليات الإصلاح في أحد الإجراءين التاليين:

#### 1.5. الإجراء الأول

كما هو موضح بالشكل رقم (9) والخطوات تكون كالتالي:

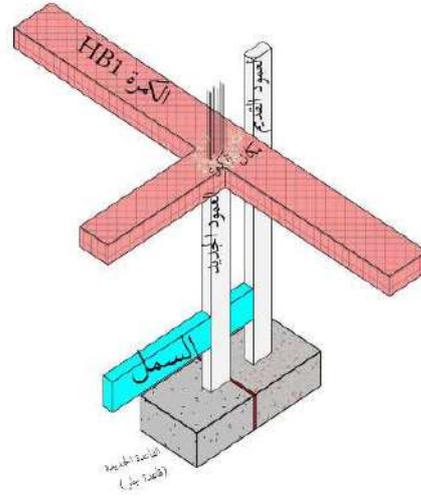
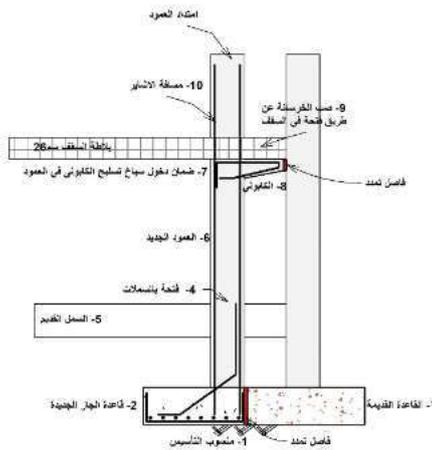
1-إنشاء قواعد جار إلى جانب قواعد الأعمدة القديمة المقابلة لها أسفل منتصف العتبات (HBI) عند إلتقاء المحاور A2،A4،A6، والحفر يتم بالأبعاد المناسبة إلى مستوى التأسيس و يتضمن الحفر الكشف على السمات والكشف الجزئي على قواعد الأعمدة القديمة المجاورة بذات المكان.

2-قاعدة الجار تكون ملاصقة للقاعدة المجاورة، ويؤخذ في الاعتبار تمديد طول العمود لارتفاع يزيد عن ارتفاع بلاطة الطابق الارضي بمسافة (أشائر) تمرر عبر السقف اعلاه بعد عمل فتحة أو كوة بالسقف بأبعاد مناسبة.

**ملاحظة:** يتم تكسير جزء من السمل المقابل من ناحية العمود الجديد مع ضمان عدم قطع اسياخ التسليح وإعادة صب خرسانة السمل المزالة بنفس الأبعاد والمتانة.

3-عند نهاية العمود الجديد من الاعلى يتم إنشاء عتبة كابولية تبرز منه باتجاه العمود القديم المقابل له وتكون بنفس عرضه وبعمق مناسب وتكون ملاصقة لبلاطة السقف من الاسفل لغرض ضمان إسنادها به مع ضمان تسليح الكابولي جيدا.

4-يتم الانتقال إلى الطابق الذي يليه وتركيب اسياخ عمود جديد مع كابولي بأعلى العمود وتكرر الخطوات السابقة إلى أن ينتهي العمل.

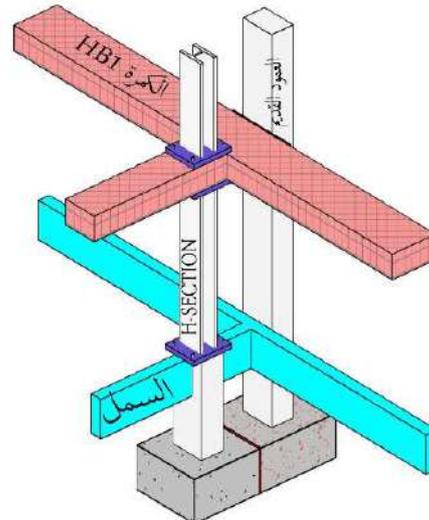
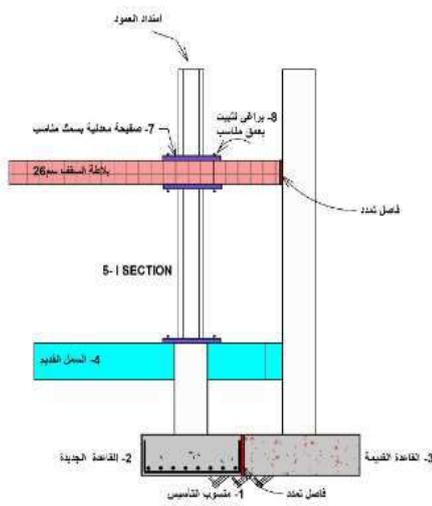


شكل (9): انشاء اعمدة خرسانية داعمة تشمل قاعدة جار وكابولي للإسناد

## 2.5. الاجراء الثاني

يكون بتوريد وتركيب مقاطع معدنية (SECTION I) بحجم وقطاع مناسب ولغرض تركيبها كما بالشكل (10) وخطوات التنفيذ تكون كالتالي:

1. يتم إنشاء قواعد جار خرسانية أو قواعد عادية أسفل منتصف العتبات (HB1) عند إلتقاء المحاور A2، A4، A6
2. يتم تركيب العمود المعدني (SECTION I) على رقبة العمود بحيث يتم تثبيت صفيحة معدنية بسمك كافي في أسفل وأعلى العمود ويتم تثبيتها ببراعي تثبيت مناسبة على أن يكون طول العمود بنفس ارتفاع الطابق.
3. تكرر الفقرة 2 لكل الطوابق العليا.



شكل (10): تركيب العمود المعدني (SECTION I) على رقبة العمود يشمل قاعدة جار

**6. التوصيات**

بناء على ما تناولته هذه الدراسة تم ملاحظة بعض القصور عموماً يتكرر عند تنفيذ المباني الخرسانية ابتداء من بدأ التصميم وانتهاء إلى التنفيذ والتشغيل وجب التنبيه عليه وأخذ بعض التوصيات التالية في الاعتبار حتى نتجنب مثل هذه الأخطاء

1. عدم تنفيذ اي مبنى بدون تصاميم هندسية متكاملة (معمارية، انشائية، كهربائية، صحية) تحوي جميع المعلومات المهمة.
2. يجب اعداد ومراجعة خرائط التصميم الإنشائية بواسطة مهندسين استشاريين ومكاتب متخصصة في هذا المجال
3. يجب مطابقة كل المواد المستخدمة في التشييد للمواصفات المنصوص عليها في مستندات العطاء
4. على الجهة المستفيدة من العمل ان تتجه إلى الخبراء في مجال التصاميم والتنفيذ لتجنب الأخطاء الكبيرة والفادحة.
5. مواصلة الدراسة في مجال التصدعات التي تصيب المنشآت
6. التأكد من نوعية التشققات التي تظهر في الخرسانة المسلحة فيما إذا كانت خطيرة وتقييم مدى خطورتها وما هي اسبابها.

**7. المراجع**

- [1] Bayrak, O., & Sheikh, S. A. (2001). Plastic hinge analysis. Journal of structural engineering, 127(9), 1092–1100.
- [2] Standard, A. A. (2011, August). Building code requirements for structural concrete (ACI 318–11). In American Concrete Institute.
- [3] Surender Kumar, K., Lingeshwaran, N., Jeelani, S.H.: Analysis of residential building with STAAD. Pro & ETABS. Mater. Today Proc. **33**, 1221–1228 (2020).
- [4] A. Michael & P. Christou, 2011, Moment curvature analysis of concrete flexural members confined with CFRP grids, Department of Civil Engineering, Frederick University, Cyprus.
- [5] Engissol Cross Section Analysis and Design.v5.6.8.

## دراسة كيفية خلق إدارة مستدامة لمخلفات الهدم والبناء في الجنوب الليبي / فزان - مدينة سبها

د. محمد عبدالسلام ابوبكر السبهاوي<sup>1</sup>، د. ابراهيم علي خليفه غرغار<sup>2</sup>

عضو هيئة تدريس - جامعة سبها - كلية الهندسة - قسم المدنية والبيئية

mohamed.a.aboubakar@gmail.com

## 1- الملخص

في هذا البحث درست قضية إدارة مخلفات الهدم والبناء في جنوب ليبيا [فزان] شكل 1، والتي تواجه تحديات بيئية كبيرة وبنية تحتية مدمرة نتيجة التهميش والإهمال الحكومي لسنوات طويلة.

تعتبر صناعة البناء والتشييد مصدرا رئيسيا لتوليد النفايات والتلوث البيئي، بسبب الافتقار إلى الممارسات الفعالة في إدارة مخلفات الهدم والبناء في مدينة سبها كنموذج لجنوب ليبيا. ويركز البحث بشكل خاص على الكميات الهائلة من مخلفات الهدم والبناء المنتجة في مدينة سبها شكل 1، والتي تزايدت بسبب الصراعات المستمرة، لدرجة أن كمية هذه النفايات تفوق الكميات الموجودة في العديد من الدول المجاورة. الهدف من البحث هو وضع خطة عمل مستدامة لإدارة هذه النفايات [15-16]، بما في ذلك تحدي جميع التحديات الإضافية



شكل 1 خريطة ليبيا / إقليم فزان

التي تواجهنا بسبب طبيعة المنطقة، أو وعي المواطن [11] أو الصراعات التي تحدث من وقت لآخر. ومن خلال الاستبيانات أشارت النتائج إلى نقص الوعي لدى الجهات المعنية بالبناء في المدينة حول الحد من النفايات، ويتجلى ذلك في سوء فرز النفايات وإعادة تدويرها وتسجيلها. وحددت الدراسة عدة معوقات أمام الإدارة المستدامة للنفايات، [15-16] بما في ذلك النقص الشديد في المرافق التي تواكب التطور العلمي، والإهمال وغياب التدخل الحكومي [15-16]، وعدم كفاية الوعي العام حول إدارة النفايات. ويقترح البحث خطة عمل لإدارة مخلفات البناء والهدم بشكل مستدام، مع الأخذ في الاعتبار خصائص جنوب ليبيا، بما في ذلك الطقس والمناخ الصحراوي وظروف وأساليب معيشة المواطنين في هذه المناطق [11]، أي الجوانب الاجتماعية والثقافية، وهما عنصران أساسيان لتوعية المواطن للحصول على إدارة مستدامة جيدة [10]، وتحديدًا لسياق الجنوب الليبي [14]. ولخص هذا البحث بعض التوصيات لتحسين السياسات الإدارية، وزيادة إعادة التدوير وإعادة الاستخدام، وتطوير البنية التحتية الفعالة لإدارة النفايات. والهدف من ذلك هو تقليل توليد النفايات مع خلق فرص عمل للمواطنين، وبالتالي تقليل الأثر البيئي وتعزيز الفوائد الاقتصادية.

كلمات استرشادية: إدارة مستدامة - مخلفات الهدم والبناء - الجنوب الليبي [فزان] سبها - التلوث البيئي - صناعة البناء

## 2- المقدمة: -



شكل 2 مخطط مدينة سبها/نطاق الدراسة

شهدت مدينة سبها شكل 2 في السنوات الأخيرة زيادة كبيرة في عدد السكان لعدة أسباب منها التهجير لبعض المدن والزحف الأفريقي، الهجرة الغير شرعية حيث بلغ حوالي ما بين 300 الى 400 الف نسمة وجميع هؤلاء يتطلب توفير احتياجاتهم الأساسية والتي من بينها السكن اللائق. [11] هذه الزيادة في عدد السكان يقابلها التوسع في المخططات العمرانية وإنشاء المباني و احيانا كانت عشوائية نتيجة لغياب دور الرقابة من طرف الحكومة لعدة سنوات ونلاحظ في هذه السنة استعادت الحكومة دورها وبدء تنفيذ المخطط العمراني وكما أن هذا التوسع العمراني صاحبه هدم وإزالة عدد كبير من المباني

القديمة والحديثة والتي اعتبرت غير ملائمة لمتطلبات العصر الحالي. وقد نتج عن هذه الإزالة تراكم كميات هائلة من مخلفات الهدم، وبسبب عدم تخصيص مساحات مناسبة لهذه المخلفات فقد تم التخلص منها عن طريق رميها بشكل عشوائي على جوانب الطرق الرئيسية والفرعية والزراعية وبالمدينة وفي الأماكن المفتوحة. هذه الطريقة العشوائية للتخلص من مخلفات الهدم تكلف خزينة المجتمع الكثير من الأموال لإزالتها ونقلها إلى أماكن بعيدة عن المدنية. إضافة إلى الأضرار الأخرى التي تسببها هذه المخلفات والتي من بينها التلوث البيئي بجميع مجالاته. [11] تُعدُّ إدارة مخلفات البناء والهدم (C&D Waste) من التحديات البيئية المهمة التي تواجه المدن في جميع أنحاء العالم، [13] لا سيما في المدن النامية مثل مدينة سبها في الجنوب الليبي. إن الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو تقييم أولي عن ماهي مخلفات البناء والهدم وكمياتها المتوقعة في الجنوب الليبي وكيفية الاستفادة منها ومحاولة توفير الحلول العملية المستدامة للإستفادة منها بإعادة استخدامها مباشرة أو تدويرها واستخدامها مرة أخرى وذلك للحد من استهلاك الموارد الطبيعية في محاولة للحفاظ عليها لعدة أجيال قادمة تتعدد مصادر مخلفات البناء والهدم في مدينة سبها، حيث تأتي بشكل رئيسي من:-

- مشاريع البناء الجديدة: زيادة نشاطات البناء نتيجة النمو السكاني واحتياجات الإسكان الجديدة.
  - أعمال التجديد والصيانة\*: حيث تشمل هذه الأعمال استبدال المواد القديمة بمواد جديدة، ما ينتج عنه كميات كبيرة من المخلفات.
  - الهدم: وهو المصدر الأكبر للمخلفات، ويحدث عادةً عند إزالة المباني القديمة أو المتضررة، خصوصاً بعد النزاعات أو الكوارث الطبيعية.
- تتكون مخلفات البناء والهدم من مجموعة متنوعة من المواد الناتجة عن أنشطة البناء والتجديد والهدم، والتي إذا لم تُدار بشكل صحيح، يمكن أن تؤدي إلى تدهور البيئة وزيادة التلوث شكل 3-4 منها:-
- الخرسانة: يمكن إعادة تدويرها واستخدامها كركام في إنشاء الطرق أو في أعمال البناء الجديدة

- الطوب: يمكن إعادة استخدام الطوب السليم في البناء أو سحقه واستخدامه في طبقات التأسيس في الطرق
  - المعادن: مثل الحديد والألومنيوم، وهي مواد يمكن إعادة تدويرها بالكامل واستخدامها في صناعات مختلفة
  - الخشب: يمكن إعادة استخدامه في مشاريع بناء أخرى أو تحويله إلى وقود
  - الزجاج: يمكن إعادة تدويره وتحويله إلى مواد زجاجية جديدة أو استخدامه في التطبيقات المعمارية
- في منطقة الجنوب الليبي، يمكن الاستفادة من هذه المواد بشكل كبير في إعادة تأهيل البنية التحتية وبناء المساكن، خصوصاً مع قلة الموارد وارتفاع تكلفة استيراد المواد الخام.
- نجحت العديد من الدول في الاستفادة من المخلفات بصفة عامة ومخلفات البناء بصفة خاصة عن طريق إعادة تدوير تلك المخلفات وإنتاج مواد بناء تقوم بنفس الدور التي تقوم به مواد البناء التقليدية في توفير إستغلال الموارد الطبيعية وتحقيق مبدأ الاستدامة للأجيال القادمة [13]. التنمية المستدامة عملية تكاملية مستمرة، هدفها تلبية متطلبات الواقع الحالي دون إهمال قدرة الأجيال القادمة على تلبية، احتياجاتها ولها صلة مباشرة بالمحافظة على البيئة والمجتمع [9-12-15-16]



شكل 3-4 هدم المباني والمخلفات الناتجة عنها

لقد أوضحت بعض الدراسات أن كمية النفايات والمخلفات الصلبة عالمياً تصل إلى عشرين مليون طن سنوياً ويزداد هذا المقدار بنسبة 1% سنوياً [1]. وقد تطورت طرق التخلص من هذه المخلفات والتي من أهمها عملية التدوير وإعادة الاستعمال التي استخدمت كثيراً في معظم الدول الصناعية [2] ظهرت الدراسات العالمية أن هناك العديد من الممارسات الفعالة لإدارة مخلفات الهدم والبناء التي يمكن أن تُعتبر نماذج يُهتدى بها. في الدول الأوروبية والغربية [5] - [3] وقد أجريت أبحاث ودراسات لإعادة تدوير مخلفات البناء واستعمالها مجدداً في صناعة التشييد، [14] بل هناك دول بدأت بوضع المواصفات لإعادة استخدام المخلفات الخرسانية، ومنها الولايات المتحدة واليابان وهولندا والمملكة المتحدة وألمانيا والدانمارك وبعض الدول العربية مثل الإمارات والسعودية والكويت ومصر [8] - [5] وذلك بإصدار قانون و كود لاستخدام المواد المعاد تدويرها [4] هذا يساعد في الإقلال من استهلاك الموارد

الطبيعية المستخدمة في إنتاج مواد بناء جديدة والتوفير في الجهد والمال المهدر . هذا الفترة تعاني فيه ليبيا وخصوصا جنوبا من وجود نسبة كبيرة من مخلفات البناء والهدم لا يتم استغلالها بالشكل الجيد [12] وتتسبب هذه المخلفات في العديد من المشاكل البيئية والصحية ونحن في ليبيا نحتاج في الفترة القادمة إلى استهلاك الكثير من الموارد الطبيعية لاستخدامها في إنتاج مواد البناء تستخدم في إعادة الإعمار وإقامة العديد من المشروعات العمرانية، وتدوير هذه مخلفات البناء والاستفادة من تجارب الدول. [7] حيث نجد أن هذه المخلفات تتجمع بكميات كبيرة ومتناثرة على جوانب الطرق وفي الأماكن المفتوحة، وبالرغم من تعذر الحصول على إحصائيات تبين كمية هذه المخلفات من الجهات ذات العلاقة، إلا أنها كما أوضحت الزيارة الميدانية لأماكن تواجدها تقدر بألاف الأطنان وساهمت في كثير من المشاكل مثل اختناقات الطرق شكل 5 والأضرار بالأرض الزراعية وكذلك أصبحت ملجأ لبعض الحيوانات الضارة.

تعتبر صناعة مواد التشييد بصفة عامة وصناعة الخرسانة بصفة خاصة من أكثر الصناعات المستهلكة للموارد الطبيعية المنتجة للمخلفات في العالم [5] كما سبق توضيح ذلك حيث يتم إنتاج حوالي 12 بليون طن سنويا من الخرسانات على مستوى العالم تستهلك 1.7 بليون طن اسمنت، 9 طن ركام وتريليون لتر ماء كما يتم استخدام أكثر من 2 بليون طن من الحجر الجيري يستهلك في الكنكر [12] . وهذه المواد ينتج عنها مخلفات تقدر ب 50% ولذلك نجد أن مخلفات الخرسانة هي من أهم مخلفات البناء التي تم تدويرها وإعادة استخدامها مرة أخرى كركام في الخرسانة الجديدة بعد إجراء العديد من التجارب [12] منذ أن بدأ استخدام الركام المعاد تدويره والنتائج من هدم المباني كبديل للركام الطبيعي في الخرسانات الجديدة لإعادة إعمار بريطانيا وألمانيا بعد الحرب العالمية الثانية. و لإتمام عملية التدوير يتم إنشاء ما يسمى بمحطات إعادة تدوير المخلفات [10]



شكل 5 : القمامة ومخلفات البناء تتقل كاهل اهالي حي المهديّة/سرت.

### 3-التحديات الإقليمية -

إدارة مخلفات الهدم والبناء في جنوب ليبيا تواجه العديد من التحديات التي تعيق تنفيذ الممارسات المستدامة. من أبرز هذه التحديات

التي قد تواجهها كمهندسين في تلك العملية منها [15-16]

1-3 تحديات تقليل المخلفات

أول تحدي في إدارة مخلفات البناء، هو تقليل كمية المخلفات التي تنتجها، بذلك ستوفر على نفسك الوقت والمال اللازمين لعمليات التنظيم والرمي.

## 2-3 تحديات تصنيف المخلفات

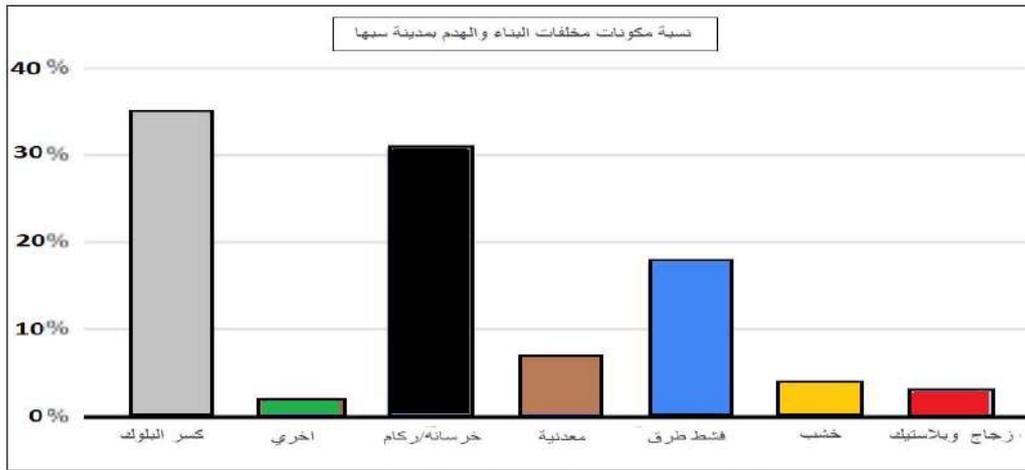
تتكون مخلفات البناء من مواد متنوعة وكثيرة، التي تتراكم عادةً في مكان واحد للتخلص منها شكل 6، ولتفادي وجود مواد قابلة لإعادة التدوير في المكب العام، تحتاج أن تراجع كل المخلفات وتصنيفها لأنواع مختلفة، منها الخشب والحديد والخرسانة وغيرها، غالباً يتم ذلك عن طريق شركات خاصة للتعامل مع المخلفات وتصنيفها. لتوفير الوقت والجهد والحصول على نتائج ممتازة إعادة التدوير وإعادة الاستخدام والبيع. بعض المواد مثل النحاس والألومنيوم وبعض المواد الأخرى يمكن أن تُباع، لذلك يجب أن تنتبه أثناء عملية التصنيف شكل 6

## 3-3 تحديات جمع المخلفات

يجب جمع المخلفات والتخلص في المكان الصحيح، وقد تتواجد المخلفات بجانب بعضها وقد تكون بعيدة عن بعضها مما يجعلك تكون أكثر حرصاً في اتخاذ الخطوات اللازمة لتقليل الكمية الناتجة

## 4-3 تحديات إعادة التدوير وإعادة الاستخدام والبيع

في حين أن مخلفات البناء لا يجب أن ينتهي بها الأمر في المكب، نجد أن العكس يحدث لأن العديد من الناس لا يدركون عملية التدوير أين تحدث وكيف تحدث، يوجد العديد من الطرق المفيدة لإعادة استخدام مواد البناء، يجب إيجاد مكان لنقل المواد، لإعادة تدوير المخلفات واستخدامها



شكل 6 كميات وتصنيف مكونات مخلفات البناء والهدم بمدينة سرتها

5-3 تحديات نقص البنية التحتية: عدم وجود منشآت كافية لفرز ومعالجة المخلفات يجعل من الصعب إعادة تدوير المواد بشكل فعال

6-3 تحديات قلة الوعي، الوعي البيئي بأهمية إعادة التدوير واستخدام المواد المستدامة لا يزال منخفضاً بين العاملين في قطاع البناء والجمهور العام

7-3 تحديات التمويل: نقص التمويل اللازم لتطوير وتنفيذ برامج إدارة المخلفات يعيق تقدم هذه الجهود

8-3 تحديات القوانين واللوائح: عدم وجود قوانين ولوائح صارمة وفعالة تلزم الشركات والمقاولين بإدارة مخلفاتهم بطرق مستدامة

تقييم تطبيق النماذج الدولية على السياق الليبي يتطلب مراعاة العديد من العوامل البيئية والاقتصادية والاجتماعية. [11] على الرغم من أن النماذج الأوروبية والأمريكية تقدم أمثلة ناجحة، [5-17] إلا أن تطبيقها في

ليبيا يتطلب تكييفها مع الظروف المحلية. البيئة الصحراوية والجافة في الجنوب الليبي تفرض تحديات خاصة، مثل ندرة المياه التي تُستخدم في عمليات إعادة التدوير. الجانب الاقتصادي يلعب دورًا كبيرًا، حيث أن التمويل المتاح لمشاريع إدارة المخلفات محدود. من الناحية الاجتماعية، يمكن أن تكون قلة الوعي والتدريب على التقنيات المستدامة عائقًا، مما يستدعي برامج توعية وتدريب مكثفة. باختصار، بينما تقدم الممارسات العالمية نماذج قيمة، فإن تطبيقها في جنوب ليبيا يتطلب تعديلات وتآقلم مع الظروف المحلية لضمان فعالية واستدامة إدارة مخلفات الهدم والبناء. [14].

#### 4- طرق الاستدامة لإدارة مخلفات البناء والهدم في المنطقة الجنوبية في ليبيا

إدارة مخلفات البناء والهدم بشكل مستدام تُعد ضرورة ملحة في المنطقة الجنوبية في ليبيا، حيث تساهم في الحفاظ على البيئة وتقليل التلوث، بالإضافة إلى تعزيز الاستفادة من الموارد المتاحة. تتضمن طرق الاستدامة مجموعة من الممارسات التي تهدف إلى تقليل النفايات، وإعادة تدويرها، واستخدامها بطرق جديدة تعود بالفائدة على المجتمع والبيئة. [14].

#### 4-1 أهم طرق الاستدامة وكيفية تنفيذها

##### 4-1-1 إعادة التدوير

- الوصف: تشمل إعادة التدوير تحويل مخلفات البناء والهدم مثل الخرسانة والطوب والزجاج إلى مواد جديدة يمكن استخدامها في مشاريع البناء الأخرى أو في رصف الطرق.
- كيفية التنفيذ: يتطلب إنشاء مراكز متخصصة في جمع وفرز وإعادة تدوير هذه المخلفات. يمكن تنفيذ ذلك بالتعاون مع البلديات والقطاع الخاص لإنشاء منشآت لإعادة التدوير، وتوفير معدات التكسير والفرز اللازمة.
- الصعوبات: من أبرز التحديات نقص البنية التحتية اللازمة، بالإضافة إلى قلة الخبرة المحلية في تشغيل مرافق إعادة التدوير.
- المميزات: تقليل كمية النفايات التي تتراكم في المكبات، وتحويل المخلفات إلى موارد جديدة يمكن استخدامها في مشاريع أخرى.
- التكاليف: قد تكون تكاليف إنشاء وتشغيل مرافق إعادة التدوير مرتفعة في البداية، لكن مع مرور الوقت، يمكن أن تؤدي إلى توفير مالي من خلال تقليل الحاجة لاستيراد مواد بناء جديدة.

##### 4-1-2 إعادة الاستخدام المباشر

- - الوصف: يمكن إعادة استخدام مواد البناء التي لم تتعرض للتلف مثل الطوب والخشب والمعادن في مشاريع أخرى دون الحاجة إلى إعادة معالجتها.
- - كيفية التنفيذ: يتطلب إنشاء قواعد بيانات ومراكز لتجميع وتوزيع هذه المواد على المقاولين وأصحاب المشاريع، وتوجيههم لاستخدام المواد القابلة للاستخدام مرة أخرى.
- - الصعوبات: التحدي الرئيسي هنا هو نقص الوعي والمعرفة لدى المقاولين وأصحاب المشاريع حول الفوائد البيئية والاقتصادية لإعادة الاستخدام.

- - المميزات: تقليل كمية النفايات، خفض التكاليف على المقاولين، والحفاظ على الموارد الطبيعية.
- - التكاليف: تكلفة إنشاء قواعد بيانات ومراكز توزيع منخفضة نسبياً مقارنة بالفوائد الاقتصادية والبيئية الناتجة.

#### 3-1-4 تحويل النفايات إلى طاقة

- - الوصف: تشمل هذه الطريقة استخدام التقنيات الحديثة لتحويل النفايات العضوية من مخلفات البناء، مثل الخشب، إلى طاقة عبر الحرق أو عمليات التخمير.
- - كيفية التنفيذ: يتطلب ذلك إنشاء منشآت لتحويل النفايات إلى طاقة، مثل محطات توليد الكهرباء من الكتلة الحيوية. يمكن تنفيذها بالتعاون مع الحكومة والقطاع الخاص.
- - الصعوبات: تحتاج هذه التقنية إلى استثمارات كبيرة في البنية التحتية والتكنولوجيا، بالإضافة إلى التحديات البيئية المرتبطة الانبعاثات الناتجة عن الحرق.
- - المميزات: توليد طاقة بديلة وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، بالإضافة إلى تقليل حجم النفايات.
- - التكاليف: تكلفة إنشاء وتشغيل محطات تحويل النفايات إلى طاقة مرتفعة، ولكنها قد تكون مجدية اقتصادياً على المدى الطويل إذا تم توفير الدعم الحكومي.

#### 4-1-4 التوعية والتعليم

- - الوصف: نشر الوعي بين المواطنين والمقاولين حول أهمية إدارة المخلفات بطرق مستدامة، وتعليمهم كيفية تقليل النفايات وإعادة تدويرها.
- - كيفية التنفيذ: يمكن تنفيذ برامج توعية من خلال وسائل الإعلام، وإدراج التعليم البيئي في المناهج الدراسية، وتنظيم ورش عمل للمقاولين وأصحاب المشاريع.
- - الصعوبات: تحديات مثل نقص التمويل والدعم الحكومي لهذه البرامج، بالإضافة إلى مقاومة التغيير من قبل بعض الجهات.
- - المميزات: زيادة الوعي المجتمعي يؤدي إلى تغيير السلوكيات والممارسات تجاه إدارة المخلفات، مما يعزز الاستدامة على المدى الطويل.
- - التكاليف: تكلفة برامج التوعية والتعليم منخفضة نسبياً مقارنة بالفوائد البيئية والاجتماعية.

#### 5- منهجية البحث

##### 1-5 تصميم الاستبيان:

- - تم تصميم استبيان موجه لجمع المعلومات من المواطنين والجهات العامة والخاصة التي تتعامل مع مخلفات الهدم والبناء للحصول على معلومات حول ممارسات إدارة المخلفات وكميات وأنواع النفايات التي يتم إنتاجها.

- - احتوى الاستبيان على مجموعة من الأسئلة التي تغطي مجالات عدة، منها وعي المواطنين بالمشكلة، والممارسات الحالية لإدارة المخلفات، والتحديات التي تواجه الجهات المسؤولة، والرغبة في المشاركة في برامج إعادة التدوير.

2-5 جمع البيانات:

- - توزيع الاستبيان على عينة ممثلة من المواطنين وأصحاب الشركات والمقاولين في مدينة سبها.
- - جمع البيانات من خلال زيارات ميدانية ومقابلات مع المسؤولين في الجهات العامة والخاصة.
- - إجراء مقابلات شخصية مع مديري المشاريع والمشرفين لجمع بيانات نوعية حول التحديات والفرص في إدارة المخلفات.

- - جمع المعلومات من الكتب والمجلات والمعلومات ذات الصلة من المراجع السياسية والثانوية والاستبانة

3-5 تحليل البيانات:

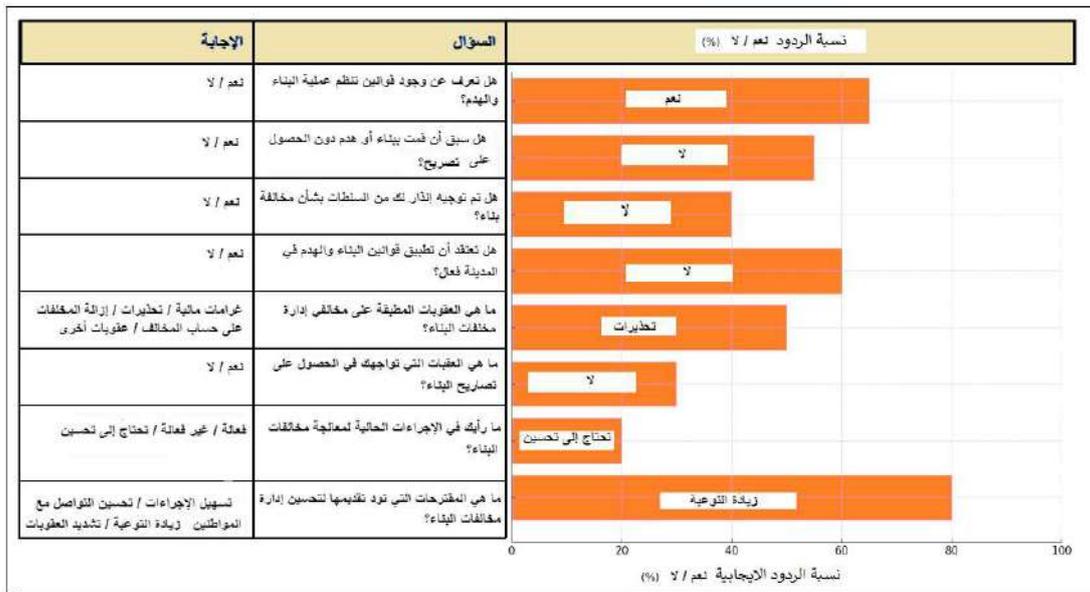
- - تم تحليل البيانات باستخدام أدوات تحليل إحصائية لتحديد الأنماط والعلاقات بين المتغيرات.
- - تم استخدام الجداول والرسوم البيانية لتوضيح النتائج الرئيسية

## 6- تحليل النتائج من خلال الاستبيان ورسم المنحنيات التوضيحية للنتائج حيث نعرض نماذج من الأسئلة

### المهمة لهذه الاستبيانات

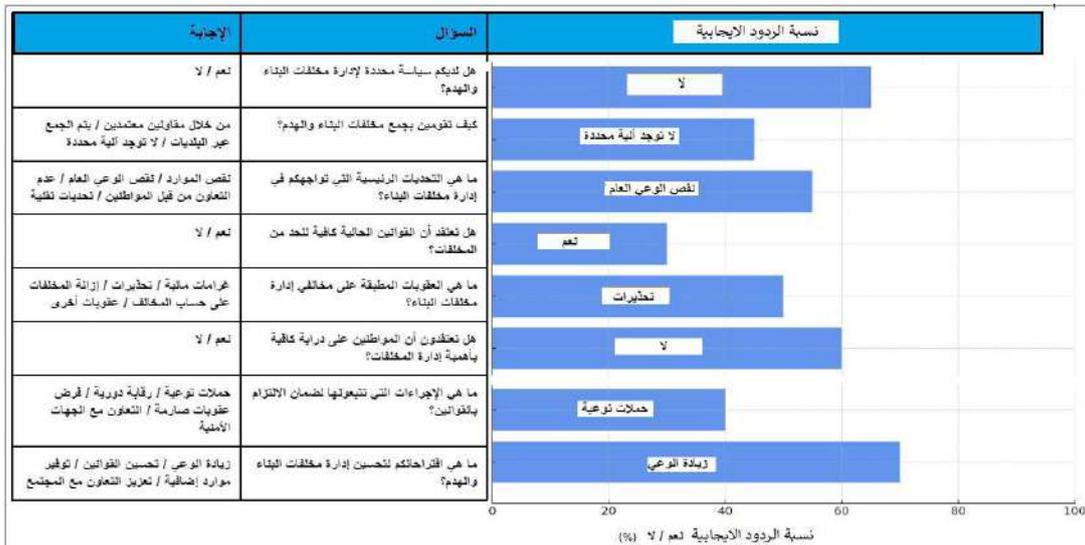
تناولت هذه الدراسة أهمية إدارة مخلفات الهدم والبناء بشكل مستدام في جنوب ليبيا، التوصيات المستقبلية للباحثين والمهتمين بمجال مخلفات البناء والهدم، عن طريق دراسة ميدانية بطريقة الاستبيان شكل [7/8/9] حيث تم سؤال المواطن البسيط المنتج الاول للمخلفات وسؤال المسؤول على حماية ونظافة المدنية وايضا تم سؤال المهندس والمعلم والمخطط لهذه المشاريع حتى تكتمل صور التنفيذ النهائي للمصلحة العامة.

6-1 اولاً شكل 7 استبيان المواطن بالشارع لتحديد مدى الوعي على مشكلة مخلفات البناء والهدم نلاحظ من الاجابات ان معظم الإجابات وينسبه كبيره كانت بكلمة لا أو لا اعرف وذلك يبعث لنا رسالة واضحة بعدم وعي المواطن بخطر مواد البناء والهدم وعدم معرفته بالقوانين اللازمة التي تطبق عليه نتيجة مخالفته برمي مخلفات البناء والهدم في اماكن عامه ايضا نلاحظ بضعف القوانين وعدم تطبيقها بالصورة الصحيحة والجيدة وضعف الرقابة العامة

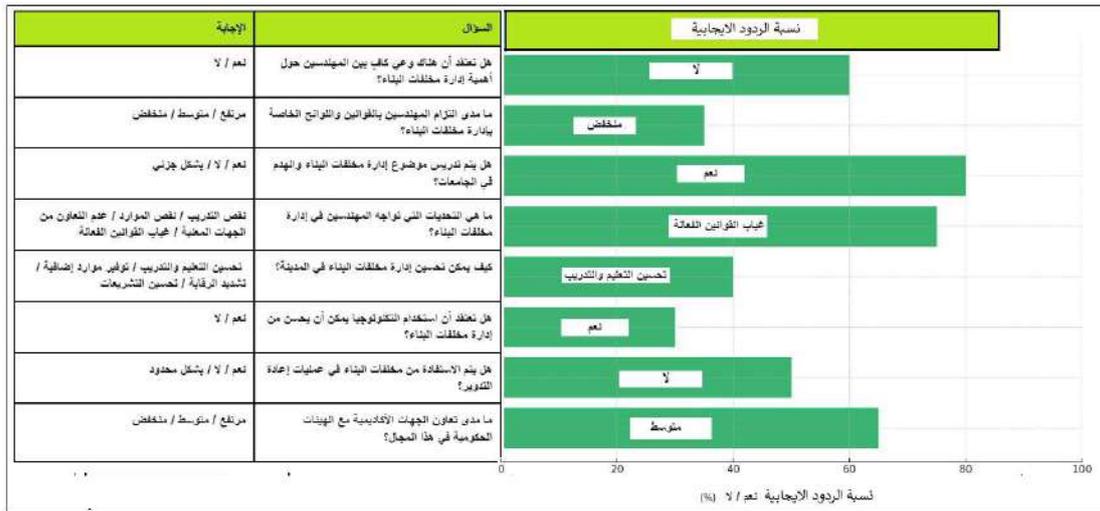


شكل 7 استبيان المواطن بالشارع لتحديد مدى الوعي عنده مشكلة مخلفات البناء والهدم بمدينة سبها

6-2 ثانياً أما شكل 8 الاستبيان مع العاملين بإدارة الشركات المسؤولة على تجميع مخلفات البناء والهدم فأيضاً كان الإجابات أغلبها بكلمة لا حيث لا توجد سياسة محددة للإدارة ولا آلية محددة جمع المخلفات ونقص في الوعي وعدم كفاية القوانين وضعف في العقوبات الرادعة للمخالفين حيث يطلبون زيادة الوعي للمواطن كحل سريع وأولي لهذه المشكلة.



شكل 8 استبيان العاملين بإدارة الشركات المسؤولة على تجميع مخلفات البناء والهدم بمدينة سبها



شكل 9 استبيان العاملين بالجامعات والمهندسين والمتخصصين حول تجميع مخلفات البناء والهدم بمدينة سبها

6-3 ثالثاً أما شكل 9 استبيان الخاص بالجامعات والمهندسين والمتخصصين في دراساتهم حول تجميع مخلفات البناء والهدم بمدينة سبها حيث كانت الاجابات مختلفة بحيث كانت بنعم او لا لأنها هذه طبقة متعلمة ودرست هذه مواضيع في الجامعات ولكن يوجد التزام من المهندسين بتطبيق اللوائح في البناء بنسبة منخفضة وغياب القوانين الفعالة ونقص التدريب على التقنيات الحديثة ومواكبة العلم في هذا المجال وبذلك أدى إلى تعاون متوسط من قبل الجامعات مع الهيئات المسؤولة على عملية نقل وهدم مخلفات البناء والهدم في المدينة.

#### 7- قيود الدراسة

- رغم الجهود المبذولة لجمع وتحليل البيانات بدقة، هناك بعض القيود التي يجب الاعتراف بها:-
- أولاً، قد تكون البيانات التي تم جمعها من الاستبيانات شكل [9/8/7] والمقابلات متحيزة بسبب عدم تعاون بعض الشركات أو تقديم معلومات غير دقيقة.
  - ثانياً، البيانات الحكومية قد لا تكون محدثة أو كاملة، مما يؤثر على دقة التحليلات. وأخيراً، تقتصر الدراسة على الجنوب الليبي / مدينة سبها، وبالتالي قد لا تكون النتائج قابلة للتعميم على جميع أنحاء البلاد دون إجراء دراسات إضافية في مناطق أخرى.

#### 8- الحالة الحالية لإدارة النفايات في جنوب ليبيا / مدينة سبها

##### 8-1 الصعوبات التي تواجه إدارة مخلفات البناء والهدم في سبها

تواجه مدينة سبها عدة صعوبات في إدارة مخلفات البناء والهدم، منها:

- نقص الوعي البيئي: قلة الوعي لدى المواطنين حول أهمية إدارة المخلفات بطرق مستدامة.
- غياب البنية التحتية: عدم توفر مراكز متخصصة لإعادة تدوير المخلفات أو مواقع مخصصة للتخلص منها بطرق آمنة.
- ضعف التشريعات: غياب القوانين والسياسات التي تنظم إدارة المخلفات بشكل فعال وتفرض عقوبات على المخالفين.

- قلة التمويل: نقص الدعم المالي للمشاريع البيئية التي تهدف إلى إدارة المخلفات وتحسين البنية التحتية.

## 2-8 إنتاج النفايات

في جنوب ليبيا، تنتج قطاعات الهدم والبناء كميات كبيرة من النفايات المتنوعة. [6] من أبرز أنواع هذه النفايات نجد الخرسانة الطوب، المعادن، والأخشاب، والبلاستيك. شكل 10 تقدر الدراسات المحلية أن قطاع البناء والهدم يُنتج حوالي 60% شكل 10 من إجمالي النفايات الصلبة في المنطقة [7]. لا يتم تصنيف النفايات بشكل عام إلى نفايات قابلة لإعادة التدوير مثل المعادن والأخشاب والخرسانة والبلاستيك، ونفايات غير قابلة لإعادة التدوير.

## 2-8 السياسات واللوائح الحالية.

حاليًا، توجد سياسات ولوائح لإدارة النفايات في ليبيا، لكنها تواجه تحديات كبيرة في التنفيذ والفعالية. [11] تعتمد هذه السياسات بشكل أساسي على قوانين عامة لإدارة النفايات الصلبة دون تخصيص دقيق لمخلفات الهدم والبناء. هناك نقص في الرقابة والتنفيذ الفعال لهذه القوانين، مما يؤدي إلى نقشي الممارسات غير المستدامة مثل التخلص العشوائي من النفايات [10]. كما تفتقر السياسات الحالية إلى تحفيزات اقتصادية للشركات التي تتبنى ممارسات إعادة التدوير أو تقليل النفايات [10].

## 3-8 البنية التحتية والمرافق

تعد البنية التحتية الحالية لجمع وفرز ومعالجة النفايات في جنوب ليبيا غير كافية لمواجهة حجم المخلفات الناتجة عن الهدم والبناء. معظم المناطق تفتقر إلى مرافق متخصصة لإعادة التدوير، حيث تقتصر الجهود على جمع النفايات ونقلها إلى مكبات غير منظمة. [13] هناك نقص واضح في محطات الفرز والمعالجة المتقدمة، مما يعيق جهود إعادة التدوير والاستفادة من المواد القابلة لإعادة الاستخدام. بالإضافة إلى ذلك، تفتقر المكبات الحالية إلى معايير بيئية صارمة، مما يزيد من المخاطر الصحية والبيئية [14].

## 9- إطار عمل مقترح لإدارة النفايات بشكل مستدام

### 9-1 الوقاية والتقليل

لتقليل إنتاج النفايات خلال المشاريع البنائية، يجب تبني استراتيجيات متعددة تشمل:

- التخطيط الجيد: تخطيط المشاريع بدقة لتقليل الفاقد من المواد.
- استخدام تكنولوجيا البناء الذكية: استخدام التكنولوجيا الحديثة في التصميم والبناء لتقليل الهدر.
- شراء المواد بحكمة: شراء كميات مناسبة من المواد لتفادي الفائض.
- التدريب والتوعية: تدريب العمال على ممارسات البناء المستدامة والوعي بأهمية تقليل النفايات.

### 9-2 إعادة الاستخدام والتدوير

توجد فرص عديدة لإعادة استخدام المواد ومعالجتها لإعادة التدوير:

- إعادة استخدام المواد: مثل استخدام الطوب والخرسانة المهتم في مشاريع أخرى.
- معالجة المواد: إنشاء مرافق لمعالجة المواد مثل المعادن والبلاستيك لإعادة تدويرها.

- التعاون مع شركات التدوير: تشجيع التعاون بين شركات البناء وشركات إعادة التدوير لضمان استعادة مثلى من المخلفات.
- 9-3 الحوافز الاقتصادية
- لتشجيع الممارسات المستدامة، يجب تقديم حوافز مالية وسياسية تشمل:
  - الإعفاءات الضريبية: تقديم إعفاءات ضريبية للشركات التي تلتزم بممارسات إعادة التدوير وتقليل النفايات.
  - الدعم المالي: تقديم دعم مالي للمشاريع التي تهدف إلى تطوير تكنولوجيا إعادة التدوير والبنية التحتية.
  - القوانين التحفيزية: وضع قوانين تلزم الشركات بممارسات مستدامة وتمنحها حوافز مالية لتحقيق ذلك.
- مشاركة الأطراف المعنية.
- 9-4 دور الحكومة والشركات، والمجتمع مهم لضمان نجاح هذا الإطار
- الحكومة: يجب على الحكومة وضع السياسات وتوفير الدعم المالي واللوجستي، بالإضافة إلى فرض الرقابة على تنفيذ القوانين.
- الشركات: على الشركات تبني ممارسات مستدامة في كافة مراحل البناء والهدم، والتعاون مع الجهات المعنية لإعادة التدوير.
- المجتمع: يجب توعية المجتمع بأهمية إدارة النفايات بشكل مستدام وتشجيع المشاركة في جهود إعادة التدوير.
- 9-5 خطة التنفيذ
- 1-5-9 الإجراءات قصيرة الأمد
- البدء التحسينات في إدارة نفايات الهدم والبناء بشكل فوري، يمكن اتخاذ الخطوات التالية
  - التوعية والتدريب: تنظيم حملات توعية وبرامج تدريبية للعاملين في قطاع البناء حول أهمية إدارة النفايات بطرق مستدامة وكيفية تنفيذها
  - إطلاق مشاريع نموذجية: تنفيذ مشاريع نموذجية لإعادة التدوير وإعادة الاستخدام في بعض المواقع البنائية لتكون أمثلة يُحتذى بها.
  - توفير حاويات فرز النفايات: توزيع حاويات مخصصة لفرز النفايات في مواقع البناء لتسهيل عمليات إعادة التدوير
  - تعاون مع شركات التدوير: إنشاء شراكات مع شركات متخصصة في إعادة التدوير لتسهيل عمليات نقل ومعالجة النفايات
- 2-5-9 استراتيجيات طويلة الأمد
- لتنفيذ ممارسات مستدامة بشكل تدريجي ومستدام، يمكن اتباع النهج التالي
  - تطوير بنية تحتية لإعادة التدوير: بناء مرافق متخصصة لمعالجة وفرز نفايات البناء والهدم.
  - وضع سياسات وقوانين داعمة: سن قوانين ولوائح تشجع وتلزم الشركات بممارسات البناء المستدامة، مع فرض عقوبات على المخالفين.

- تحفيز الابتكار في البناء: دعم الأبحاث والتطوير في مجال تكنولوجيا البناء المستدامة وتقديم جوائز وحوافز للشركات المبتكرة
- إدماج المناهج المستدامة في التعليم: تضمين مبادئ البناء المستدام وإدارة النفايات في المناهج التعليمية والتدريبية للمهندسين والعاملين في القطاع
- 3-5-9 الرصد والتقييم
- لتتبع التقدم وفعالية الاستراتيجيات المطبقة و تحديد مؤشرات أداء رئيسية مثل نسبة إعادة التدوير، كمية النفايات المخفضة يمكن اتباع الطرق التالية:-
- تقارير دورية: إعداد تقارير دورية لعرض التقدم المحرز ومناقشة التحديات والفرص لتحسين العمليات.
- مراجعات مستقلة: الاستعانة بخبراء مستقلين لإجراء مراجعات دورية وتقييم فعالية الاستراتيجيات وتقديم توصيات للتحسين.
- مشاركة المجتمع: إشراك المجتمع المحلي في مراقبة التقدم والمشاركة في جهود التوعية والتدوير.
- 4-5-9 الدروس المستفادة
- من هذه الحالات، يمكن استخلاص عدة دروس عملية لتطبيقها في جنوب ليبيا
- أهمية التخطيط والتنظيم
- يجب وضع خطط مفصلة لإدارة النفايات تشمل جميع المراحل من الإنتاج إلى المعالجة والتخلص النهائي
- تطوير بنية تحتية قوية لفرز ومعالجة النفايات في الموقع.
- التوعية والتدريب
- حملات توعية وتدريب مستمرة للشركات والمقاولين حول أهمية إعادة التدوير وكيفية تنفيذها بفعالية
- إشراك المجتمع المحلي في جهود التوعية لتشجيع السلوكيات المستدامة
- تحفيزات اقتصادية وقوانين داعمة
- تقديم حوافز مالية للشركات التي تتبنى ممارسات إعادة التدوير وتقليل النفايات
- سن قوانين وتشريعات تدعم وتلزم بإعادة التدوير وإدارة النفايات بشكل مستدام
- التعاون مع القطاع الخاص
- مشجعة وتحث على إجراء دراسات مشابهة لتقييم إعادة تدوير مخلفات البناء وخاصة الخرسانية منها.
- يجب الاستعداد لإعادة تدوير الخرسانة الناتجة من مخلفات الهدم وذلك بوضع المواصفات والمقاييس التي تقيم وتحكم استخدام هذه المادة. ويمكن اعتبار هذه الدراسة كخطوة في هذا الاتجاه.
- تحسين البنية التحتية: الاستثمار في إنشاء مرافق متخصصة لإعادة التدوير ومعالجة نفايات البناء والهدم.
- تعزيز الوعي والتدريب: تنفيذ برامج توعية وتدريب مستمرة للعاملين في قطاع البناء والمجتمع حول أهمية إدارة النفايات بطرق مستدامة.
- وضع سياسات وتشريعات فعالة: تطوير سياسات وقوانين تلزم الشركات بإدارة نفاياتها بشكل مستدام، مع تقديم حوافز مالية للشركات الملتزمة بتشجيع الشراكات: تعزيز التعاون بين الحكومة والشركات الخاصة لتطوير حلول مبتكرة ومستدامة

## 10- الخاتمة

تناولت هذه الدراسة أهمية إدارة مخلفات الهدم والبناء بشكل مستدام في جنوب ليبيا، التوصيات المستقبلية للباحثين والمهتمين بمجال مخلفات البناء والهدم، عن طريق دراسة ميدانية بطريقة الاستبيان حيث تم سؤال المواطن البسيط المنتج الاول للمخلفات وسؤال المسؤول على حماية ونظافة المدنية وايضا تم سؤال المهندس والمعلم والمخطط لهذه المشاريع حتى تكتمل صور التنفيذ النهائي للمصلحة العامة

حيث تم استعراض التحديات الإقليمية، بالإضافة إلى ذلك، تم اقتراح إطار عمل شامل يتضمن استراتيجيات للوقاية والتقليل، وإعادة الاستخدام والتدوير، وتقديم حوافز اقتصادية، ومشاركة الأطراف المعنية. وأخيراً، تم عرض خطة تنفيذية تتضمن إجراءات قصيرة وطويلة الأمد، وطرق للرصد والتقييم، ودراسات حالة ناجحة من مناطق مشابهة.

## 10-1 التوصيات المستقبلية للباحثين والمهتمين بمجال مخلفات البناء والهدم

لضمان تحسين مستدام في إدارة نفايات الهدم والبناء في جنوب ليبيا، يمكن التركيز على المجالات التالية في البحوث المستقبلية

1. دراسة تقنيات إعادة التدوير المتقدمة
2. البحث في تطبيق تقنيات جديدة ومبتكرة لإعادة تدوير مواد البناء وتحسين كفاءة العمليات
3. تحليل الأثر الاقتصادي. دراسة الفوائد الاقتصادية لإدارة النفايات بشكل مستدام وتأثيرها على الاقتصاد المحلي.
4. التقييم البيئي: إجراء تقييمات بيئية مفصلة لتحديد الأثر البيئي الحالي لنفايات البناء والهدم ووضع خطط للحد من هذا الأثر.
5. تطوير نماذج محلية: ابتكار نماذج إدارة نفايات تتناسب مع الظروف البيئية والاقتصادية والاجتماعية الخاصة بالجنوب
6. المخلفات الخرسانية تحتوي عادة على كميات من حديد التسليح الذي يمكن إعادة تدويره كذلك مما قد ينتج عنه مصدر إضافي للربح.
7. أكثر مخلفات هدم المباني عبارة عن خرسانة تحتوي في الجزء الأكبر منها على ركام بحالة جيدة، تدوير المخلفات الخرسانية لها إيجابيات بيئية واضحة تتمثل في تقليل الحاجة لمواقع الردم وبالتالي تقليل التلوث البيئي

## المراجع

- [1]. [Sustainable Construction Waste Management in Developing Countries: Case of Libya Journal of Environmental Management.2020 ,
- [2] Global Best Practices in Construction Waste Management." International Journal of Waste] Management.2019
- [3]."Implementing Sustainable Waste Management Systems in Emerging Markets. "Sustainability Journal, 2020

- [4] "Urban Waste Management in Developing Countries: A Case Study of Cairo, Egypt." Waste Management & Research, 2018
- [5]"Construction and Demolition Waste Management in Dubai: Challenges and Solutions. Environmental Science & Policy, 202 دراسة عن كيفية إدارة نفايات البناء والهدم في دبي والتحديات التي تواجهها
- [6] "Economic Incentives for Recycling and Waste Reduction." Journal of Environmental Economics, 2019.
- [7]"Environmental Impact Assessment of Construction Waste in Libya." Environmental Impact Assessment Review, 2021
- [8] م. خليفة بدر الفضالة [طريقة جديدة لإعادة استخدام نفايات هدم المباني في الخلطات الاسفلتية]
- [9] د. محمد المحسن "إعادة تدوير مخلفات الخرسانة" جامعة البريمي) سلطنة عمان (، المجلة الإلكترونية منظمة المجتمع العلمي العربي 2015 متاح على الرابط: [https //: detail-article/org.arsco](https://detail-article/org.arsco)
- [10] م. ميساء بشارت مقبل "أكوام مخلفات البناء العشوائية تشوه الطرقات الفلسطينية في غياب التشريعات الصارمة " المجلة الإلكترونية آفاق البيئة والتنمية 2019 متاح على الرابط: [www://https - الرابط: /ctr.org/magazine/article/2340](http://www.ctr.org/magazine/article/2340)
- [11]"Public Awareness and Attitudes Towards Recycling in North Africa." Journal of Cleaner Production.2019 ,
- [12] إطار استراتيجي لتدوير المخلفات البلدية الصلبة في مصر التقرير النهائي لسنة 2005 المركز الحديث للدراسات المتكاملة للأرض و البيئة
- [13] م. هبة صالح الطيب أحمد 2021 [ Recycling and Management of Construction Waste ] م. هبة صالح الطيب أحمد 2021 (Implementation in تقييم الأثر البيئي لنفايات البناء في ليبيا وكيفية الحد منه
- [14]. عبدالله، م. س. (2022). "التحديات البيئية في المدن الليبية: دراسة حالة مدينة سبها". مجلة الدراسات البيئية، 15(3)، 45-60.
- [15] يوسف، ع. م. (2021). "إدارة النفايات الصلبة في المناطق الحضرية: تقييم الاستدامة في ليبيا". مجلة العلوم البيئية، 10(2)، 110-125.
- [16] محمد، أ. ن. (2020). "إعادة تدوير مخلفات البناء: الحلول المستدامة". مجلة البناء والتنمية، 5(1)، 89-101.
- [17] منظمة الأمم المتحدة للتنمية الصناعية\* (2019). "دليل إدارة المخلفات في البلدان النامية". UNIDO، فيينا.

## تصدع المنشآت الخرسانية المتعرضة لمياه البحر (دراسة ميدانية على مبني الأورام بصبراتة ومرفأ صبراتة للصيد البحر)

سامي محمد صالح أمليش<sup>1</sup>، أ.د. حسن محمد عبدالله الصقري<sup>2</sup>

1 مهندس مدني، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة صبراتة، جامعة صبراتة، ليبيا

2 استاذ، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة صبراتة، جامعة صبراتة، ليبيا

### الملخص

تعتبر مواصفات أعمال الخرسانة المتعرضة لمياه البحر على درجة كبيرة من الأهمية ، باعتبار أن الظروف التي تتعرض لها هذه الخرسانة على جانب كبير من الخطورة ، الأمر الذي يؤدي بها ألي التصدع في فترة زمنية قصيرة نسبيا إذا لم تكن المواصفات المستعملة على القدر المناسب من الكفاءة وتعتبر أيضا مشكلة صدأ فولاذ التسليح من المشاكل الكبيرة محليا وعالميا من حيث تأثيرها على ثبات المواد وسلامة العناصر الإنشائية المنفذة بالخرسانة المسلحة وخاصة في مناطق متعرضة لبيئة بحرية ، تحتوي هذه الورقة على عمل دراسة ميدانية على مباني خدمية مهمة متضررة نتيجة البيئة البحرية ( مبني مركز المعهد القومي للأورام صبراتة ومرفأ صبراتة لصيد البحري )

تم في هذه الدراسة إجراء مجموعة من الاختبارات الحقلية والاختبارات المعملية التي تم الاعتماد عليها في البحث وشملت عمليات الفحص التشخيص الظاهري واستخراج عينات القلوب الخرسانية ومسحوق الخرسانة من العناصر الإنشائية وإجراء عليها الاختبارات المعملية من تحاليل كيميائية ومقاومة الضغط ومقاومة الشد الغير مباشر وكذلك إجراء اختبارات غير انتلافية باستخدام مطرقة الارتداد والموجات فوق صوتية وقياس الغطاء الخرساني ، وبالاعتماد على النتائج تقدم الدراسة أسباب التدهور الحاصل في هذه المباني والذي وصل في بعض منها إلي مرحلة خطيرة وتقدم مجموعة من المقترحات للإعمال العلاجية وكذلك توصيات لتحسين المواصفات المحلية للخرسانة المعرضة لمياه البحر .

الكلمات الدالة: الخرسانة، تحاليل كيميائية، مقاومة الضغط، البيئة البحرية، مهاجمة الكلوريدات

### 1- مقدمة

يعد الساحل الليبي أطول ساحل لبلد أفريقي يطل على البحر الأبيض المتوسط بطول حوالي 1900 كيلومتر ويضم هذا الساحل العديد من المنشآت الخدمية والسكانية تعاني من مشاكل وتشوهات وشقوق وشروخ، يعتبر صدأ وتآكل فولاذ التسليح من أخطر المشاكل التي تواجه المنشآت الخرسانية المتعرضة لمياه البحر. وتعد الخرسانة المسلحة من المواد التي تتحمل مع الزمن وتقاوم طويلا ويفضلها المصممون على كثير من أنواع مواد البناء الأخرى.

ونظرا لأهمية هذه المسألة تم إجراء دراسة ميدانية على مباني قائمة في مدينة صبراتة متضررة من البيئة البحرية وهي (مبني مركز المعهد القومي للأورام ومرفأ صبراتة لصيد البحري). وتحليل أهم الأسباب التي أدت إلي تصدعها وبحث أنسب الطرق لحمايتها وإعادة تأهيلها وذلك من خلال استعراض معظم حالات التصدع الحاصلة ، وقد ثبت أن صدأ وتآكل فولاذ التسليح هو المشكلة الأساسية للمنشآت الخرسانية المسلحة وخاصة في المناطق الساحلية

لذلك تم التركيز على هذه المشكلة من خلال دراسة منشآت متصدعة وتحليل أسباب التصدع من خلال برنامج الاختبارات الحقلية والمعملية التي تم تنفيذها حيث اشتملت الاختبارات الحقلية على إختبار مطرقة الارتداد، وإختبار فرق جهد نصف الخلية ، و قياس سمك الغطاء الخرساني ، وإستخراج القلوب الخرسانية ومسحوق الخرسانة ،وشمل برنامج الاختبارات المعملية إختبار مقاومة الضغط، وإختبار مقاومة الشد غير مباشر، وإختبار توغل أملاح الكلوريدات ،وعمق توغل الكربنة .



شكل (1) : تأثير الصدأ على المنشآت الخرسانية (مبنى مركز المعهد القومي للأورام صبراتة)



شكل (1): تأثير الصدأ على المنشآت الخرسانية (مرافأ الصيد البحري صبراتة )

## 2- منهجية البحث

تنقسم منهجية البحث إلى جانبين مهمين تعكس جوهر المشكلة والبرنامج العملي المتبع للوصول إلى تقييم حقيقي للحالة ويمكن تلخيصها في:-  
الدراسة المكتبية: استهدفت هذه الدراسة التعرف على الجانب النظري للموضوع، وذلك كما تناولتها الكتب والمراجع والدراسات العلمية السابقة.  
الدراسة التجريبية: اعتمد الباحث على الأسلوب الميداني وذلك بإجراء مجموعة من الاختبارات الحقلية والمعملية للحصول على النتائج والتوصيات التي سوف يعتمد عليها التقييم.

### 3- تأثير المنشآت الخرسانية المسلحة بالبيئة البحرية

الخرسانة في منشآت البيئة البحرية تتعرض لمؤثرات مختلفة من أهمها: -  
مؤثرات ميكانيكية: ناتجة عن الصدمات الناشئة عن فعل الأمواج والأجسام العائمة حيث تتسبب هذه العوامل في تآكل السطح الخارجي للخرسانة وزيادة مساميتها.  
مؤثرات كيميائية: تنشأ من التفاعلات الكيميائية بين أملاح البحر ومركبات الاسمنت فتتكون مواد تذوب في الماء أو يزيد حجمها عن الحجم الأصلي مما يسبب تفتت السطح الخارجي للخرسانة.  
مؤثرات طبيعية عن طريق بلورات الأملاح في المسام الموجودة بالغطاء الخرساني فيزداد الحجم مما يسبب حدوث تشققات وتفتت الخرسانة

يتولد تيار كهربائي نتيجة لوجود فولاذ التسليح في الخرسانة المسلحة فيصداً ويزداد حجمه مسبباً تشققه أو تفتيته.

#### 3-1 تأثير الكلوريدات.

تعتبر مهاجمة أملاح الكلوريدات من أهم المظاهر على المنشآت البحرية التي تسبب في تآكل قضبان التسليح، مصدر الكلوريدات إما في مكونات الخرسانة نفسها أو من مصادر خارجية من أهمها مياه البحر والمياه الجوفية، حيث تشارك الكلوريدات في مهاجمة أجزاء المنشأ وخاصة فولاذ التسليح، يبدأ ذلك عندما يصل الكلور الي طبقة الحماية وعندما يصل تركيزه فوق المسموح به يحدث مشاكل في طبقة الحماية وتتفكك ويحدث الصدأ ويكون على هيئة حفر .

#### 3-2 تأثير الكبريتات على الخرسانة

تتواجد الكبريتات في مياه البحر بجميع أنواعها (كبريتات الكالسيوم - كبريتات المغنيسيوم - كبريتات الصوديوم) الأخطر منهم هي كبريتات المغنيسيوم لان معدل انحلالها عالي وتنتج منتجات فيها تمدد كبير وبالتالي يحصل إجهادات في الخرسانة وتسبب تشققات فيها.

#### 3-3 التآكل بالكربنة

يسمي تفاعل ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) مع المواد القلوية للخرسانة بالكربنة، وهذا الأخير هو الظاهرة التي يمكن ان تسبب عدم استقرار الهيكل بفعل ( $CO_2$ ) الموجود بشكل طبيعي في المحيط الخارجي للخرسانة في أشكال مختلفة خاصة الحالة الغازية اي في الهواء أو بوجود الرطوبة وتحت الضغط يتشكل حمض الكربونيك  $H_2CO_3$  نتيجة هذه التفاعلات عامل PH تنخفض من 12.6 في البداية إلى أقل من 9 أي من وسط قلوي إلى وسط حامضي أي تتحول الحالة حول حديد التسليح من الحالة الحيدية إلى الحالة النشطة لأكسدة حديد التسليح نتيجة تأثير الأوكسجين المنحل في السوائل المائلة لفرغات الخرسانة وتبدأ عملية أكسدة الحديد.

#### 3-4 صدأ فولاذ التسليح

فولاذ التسليح يتعرض إلي ظاهرة طبيعة وهي التآكل أو الصدأ حيث يتعرض بشكل أو بآخر إلي الأوكسجين والماء. يتفاعل معها مكونا الصدأ هذه العملية غير قابلة إلي إعادة التدوير ونتيجة هذا التفاعل ينتج لون بني على فولاذ التسليح ويعطي مركبات الأوكسيد حيث يزداد حجمها ويصل هذا الحجم إلي أكبر من 6 مرات. وتحدث هذه العملية من تفاعلات كيميائية تر بعدة مراحل أهمها:

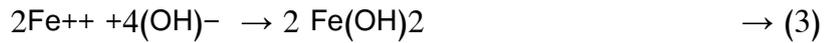
يتأكسد الحديد عند ملامسته للماء معطياً أيونات الحديد (Fe<sup>++</sup>) حسب التفاعل:



تنتقل الإلكترونات المتولدة من التفاعل السابق (4e<sup>-</sup>) حيث تتفاعل مع الأكسجين والماء مكونة أيونات الهيدروكسيد (OH) حسب التفاعل:



عند تقابل نواتج التفاعلين - أيونات الحديد مع أيونات الهيدروكسيد - يترسب هيدروكسيد الحديد الثنائي وفقاً للتفاعل:



يتأكسد هيدروكسيد الحديد الثنائي الناتج بفعل الأكسجين والماء إلى هيدروكسيد الحديد الثلاثي تفاعل

ثانوي - الذى يتحلل مكوناً صدأ الحديد (أكسيد الحديد) طبقاً للتفاعل :



#### 4- البرنامج العملي

#### 4-1 الفحص الظاهري

تعاني بعض العناصر الإنشائية المكونة لمنشآت الدراسة من تصدعات التآكل وبدرجات مختلفة وذلك لتعرضها للبيئة البحرية. وقد تم إجراء فحص ظاهري شامل ودقيق للعناصر الخرسانية والتحقق من نسبة تضررها ومن ثم تنفيذ برنامج الاختبارات الحقلية والمعملية.

#### 4-2 الاختبارات الحقلية

قياس سمك الغطاء الخرساني اعتمدت المواصفات البريطانية (BS1881:Part204:1986)

اختبار فرق جهد نصف الخلية اعتمدت المواصفات البريطانية (BS1881:Part203:1986)

اختبار مطرقة الارتداد - اعتمدت المواصفات البريطانية (BS1881:Part202:1986)

استخراج عينات القلوب الخرسانية اعتمدت المواصفات البريطانية ((BS1881:Part124:1986)

استخراج عينات المسحوق الخرساني اعتمدت المواصفات الأوروبية (ENN-206 (1992)

#### 4-3 الاختبارات المعملية

اختبار عمق توغل الكربنة اعتمدت متطلبات المواصفات الأوروبية (ENN-206 (1992)

اختبار مقاومة الضغط اعتمدت متطلبات المواصفات الأوروبية (ENN-206 (1992)

اختبار مقاومة الشد الغير مباشر اعتمدت بالمواصفة الأمريكية ACTM C 496-04

اختبار تحديد معدل توغل أملاح الكلوريدات والكبريتات اعتمدت حدود المواصفات طبقاً للتقرير الفني رقم (26) لجمعية الخرسانة البريطانية لسنة 1985.

## 5- النتائج والمناقشة

## 5-1 مرفأ صبراتة لصيد البحري

في الجدول رقم 1 النتائج التي تم الحصول عليها من: إختبار فرق جهد نصف الخلية، إختبار مطرقة الارتداد والتي تشير إلى وجود نشاط كبير للتفاعل الكهروكيميائية للتآكل في جميع العناصر المختبرة.

جدول 1: نتائج الاختبارات الحقلية (فرق جهد نصف الخلية، مطرقة الارتداد)

نوع العنصر	رمز العنصر	إختبار فرق الجهد نصف الخلية			إختبار مطرقة الارتداد		
		زمن الذبذبة $\mu s$	سرعة الذبذبة km/s	مقاومة الضغط المكافئ kg/cm2	متوسط قيمة الارتداد	زاوية استخدام الجهاز	المقاومة المناظرة kg/cm2
حائط الرصيف الشمالي	W1	110	4.54	325	34	صفر →	228
حائط الرصيف الشرقي	W2	118	4.23	190	35	صفر →	250
كتف القناة	AB1	112	4.46	266	30	↓ 90	240
كتف القناة	AB2	100	4.00	145	32	↓ 90	280

الجدول رقم 2 نتائج اختبار مقاومة الضغط للعينات القلوب الخرسانية المستخرجة وإختبار عمق توغل الكرينة يلاحظ تقارب النتائج المتحصل عليها في مرفأ الصيد البحري صبراتة ومن خلال مقارنتها مع متطلبات المواصفات الأوربية (1992) ENN-206 بخصوص الخرسانة المتعرضة لمياه البحر سواء كانت المغمورة أو الموجودة بمنطقة البلب والتي تنص على أن تكون (35N/mm2).

الجدول رقم 2: نتائج مقاومة الضغط للعناصر الإنشائية

نوع العنصر	رمز العنصر	مكان العينة	القطر × الطول (mm)	حمل الكسر KN	اجهاد الكسر (1) N/mm2	مقاومة الضغط المكافئ (2) N/mm2	عمق توغل الكرينة mm
حائط	W1	حائط الرصيف الشمالي	150 × 80	124.7	24.808	30.501	10
حائط	W2	حائط الرصيف الشرقي	140 × 70	113.0	22.480	28.10	10
بلاطة	SB1	بلاطة الرصيف الشمالي	100 × 70	113.3	29.44	30.778	20
بلاطة	SB2	بلاطة الرصيف الشرقي	140 × 80	90.25	17.954	19.935	15

الجدول رقم 3 نتائج اختبار الشد الغير مباشر للعينة المستخرجة من حائط الرصيف

الجدول رقم 3 : نتائج إختبار الشد غير مباشر للعينة المستخرجة

نوع العنصر	رمز العنصر	مكان العينة	القطر × الطول (mm)	حمل الكسر KN	اجهاد الشد الغير مباشر N/mm2	عمق توغل الكربنة (mm)
حائط	W1	حائط الرصيف الشمالي	155 × 74	122.3	3.19	20

ويقدم الجدول (4) نتائج التحليل الكيميائي لتحديد نسبة الكلوريدات والكبريتات في العينات الخرسانية المستخرجة من عناصر مختلفة والمسافة من سطح العنصر ويتبين من نتائج التحليل الكيميائي إن نسبة هذه الأيونات بالنسبة لوزن الخرسانة تتجاوز في معظم الأحوال الحد الأقصى المسموح به من حدود المواصفات طبقاً للتقرير الفني (26) لجمعية الخرسانة البريطانية لسنة 1985 كما تجاوزت الحد الأقصى المسموح به من قبل المواصفة البريطانية BS5328:part 1:1997. مما يؤكد إن السبب الرئيسي للنشاط التفاعلي في تلك العناصر يرجع سببه لتوغل الكلوريدات وتركيز الكبريتات. وبهذا يمكن القول إن العامل الرئيسي في تآكل قضبان التسليح للعناصر بسبب تأثير توغل الكلوريدات إلي ما وراء قضبان التسليح وكذلك ارتفاع النشاط الكهروكيميائي للتآكل ويرجع حسب النتائج المتحصل عليها ان المحتوى العالي لأملاح الكلوريدات يعود بسبب توغل هذه الأملاح من خلال عوامل البيئة الخارجية المختلفة والتي تتمثل في البيئة البحرية القاسية والتي أدت أيضا من جهة أخرى إلي ارتفاع النشاط الكهروكيميائي للتآكل.

الجدول رقم 4: نتائج التحاليل الكيميائية لتحديد نسب عمق توغل أيونات الكلوريدات والكبريتات بالعناصر الخرسانية

نوع العنصر	رمز العنصر	مكان العينة	المسافة من السطح (mm)	PH	نسبة وزن أيونات الكلوريدات الي وزن الخرسانة (%)	(%) نسبة وزن الكبريتات SO4
حائط	W1	حائط الرصيف الشمالي	25 ~ 0	10.2	0.380	1.0256
			50 ~ 25	10.12	0.290	1.1972
			75 ~ 50	10.14	0.200	1.7100
			100 ~ 75	10.14	0.120	1.654
			125 ~ 100	10.14	0.075	1.765
			150 ~ 125	10.14	0.070	1.100
حائط	W2	حائط الرصيف الشرقي	25 ~ 0	10.2	0.420	0.8713
			50 ~ 25	10.12	0.310	0.9980
			75 ~ 50	10.16	0.220	0.7492
			100 ~ 75	10.16	0.120	0.678
			125 ~ 100	10.14	0.093	0.620
			140 ~ 125	10.16	0.065	0.512

0.832	0.340	10.2	25 ~ 0	بلاطة الرصيف الشمالي	SB1	بلاطة
0.698	0.290	10.17	50 ~ 25			
0.612	0.210	10.17	75 ~ 50			
0.578	0.150	10.16	100 ~ 75			

### 5-2 مبني المعهد القومي لعلاج الأورام صبراتة

في الجدول رقم 5 النتائج التي تم الحصول عليها من: إختبار فرق جهد نصف الخلية، إختبار مطرقة الارتداد (لكثرة العناصر المختبرة تم إدراج نتائج بعض العينات). والتي تشير إلى وجود نشاط كبير للتفاعل الكهروكيميائي للتآكل في جميع العناصر المختبرة.

جدول 5: نتائج الاختبارات الحقلية (فرق جهد نصف الخلية، مطرقة الارتداد)

إختبار مطرقة الارتداد		إختبار فرق الجهد نصف الخلية			رمز العنصر	نوع العنصر	
المقاومة المناظرة kg/cm2	زاوية استخدام الجهاز	متوسط قيمة الارتداد	مقاومة الضغط المكافئ kg/cm2	سرعة الذبذبة km/s			زمن الذبذبة µs
280	صفر →	32	320	4.58	109	أعمدة خرسانية (الدور الثالث)	
225	صفر →	29	160	4.160	120		
240	صفر →	30	180	4.237	118		
180	صفر →	25	152	4.098	122	S1	بلاطة خرسانية (الدور الثالث)
270	صفر →	31	140	4.00	125	C2-1	أعمدة خرسانية (الدور الثاني)
225	صفر →	29	225	4.38	115	C2-4	
210	صفر →	28	160	4.166	120	C2-6	

ويقدم الجدول (6) نتائج التحليل الكيميائي لتحديد نسبة الكلوريدات والكبريتات في العينات الخرسانية المستخرجة من عناصر مختلفة والمسافة من سطح العنصر ويتبين من نتائج التحليل الكيميائي إن نسبة هذه الأيونات بالنسبة لوزن الخرسانة تتجاوز في معظم الأحوال الحد الأقصى المسموح به من حدود المواصفات طبقاً للتقرير الفني (26) لجمعية الخرسانة البريطانية.

جدول 6: نتائج الاختبارات الحقلية (فرق جهد نصف الخلية، مطرقة الارتداد)

نوع العنصر	رمز العنصر (1)	المسافة من السطح mm	PH	نسبة وزن أيونات الكلوريدات الي وزن الخرسانة (%)	(%) نسبة وزن الكبريتات SO4
عمود خرساني (الدور الثالث)	C1	25 ~ 0		0.1506	0.7689
		50 ~ 25		0.1518	0.6937
		75 ~ 50		0.1434	1.1036
		100 ~ 75		0.1438	1.3495
بلاطة السقف (الدور الثالث)	S3	25 ~ 0		0.252	0.6834
		50 ~ 25		0.1987	0.8610
		75 ~ 50		0.1510	0.9076
		100 ~ 75		0.1328	1.2419
بلاطة السقف (الدور الثاني)	S2	25 ~ 0		0.3122	0.8826
		50 ~ 25		0.2786	0.9110
		75 ~ 50		0.189	1.0946
		100 ~ 75		0.1476	1.0678

## 6- العلاجات المقترحة لمبني المعهد القومي للأورام صبراته

جدول 7: بيان أعمال العلاجات المقترحة

العنصر الإنشائي	رمز العنصر	بيان الأعمال	العلاج المقترح
أعمدة الدور الثالث	C3-1	إزالة البياض واللياسة القديمة حول الأعمدة.	دهان أسياخ حديد التسليح بمادة مانعة للصدأ.
	C3-2	تركيب دعم مؤقت في المنطقة المحاذية للعمود.	دهان السطح المشترك بمادة رابطة مناسبة مع مراعاة ظروف تشغيل هذه المادة.
	C3-3	إزالة جميع الأجزاء الخرسانية الضعيفة والمفككة حتى الوصول للجزء السليم.	قبل شفاف مادة التماسك يتم طرطشة سطح العمود بالمونة الخاصة.
	C3-4	إزالة طبقة الصدأ من فوق سطح الأسياخ عن طريق تنظيفها باستخدام مدفع الرمل	عمل غطاء خرساني جديد للعنصر بواسطة مونه المعالجة.
	C3-5	التأكد من جفاف سطح الخرسانة.	
	C3-6	إزالة البياض واللياسة القديمة.	عمل قميص خرساني
	C3-7	تركيب دعم مؤقت في المنطقة المحاذية للعمود.	استخدام مونه ايبوكسية لربط الخرسانة الجديد بالقديم
	C3-8	إزالة الغطاء الخرساني حتى الوصول إلي الأجزاء السليمة.	استخدام مونه ايبوكسية لزرع أشاير حديد التسليح الرئيسي بنفس العدد والقطر المستعمل في حديد التسليح الرئيسي للعمود.
		تنظيف الأعمدة باستخدام الرمال.	يتم دهان سطح العمود بمادة ربط الخرسة القديمة بالجديدة ويراعي أن يتم الدهان خلال فترة ساعة واحدة قبل صب خرسانة القميص
		توزيع أشاير الحديد المستجد للقميص.	
		مضاعفة عدد الكانات في كل من المنطقة العليا والسفلي من العمود.	

يتم صب خرسانة القميص إما عن طريق الشدات الخشبية أو عن طريق مدفع الخرسانة.			
دهان حديد التسليح القديم والجديد بمادة إيبوكسية تحمي الحديد من الصدأ. استخدام مونه العلاج عن طريق قاذف المونه.	تركيب دعم مؤقت للبلاطات. تنظيف وإزالة الغطاء الخرساني المتدهور والكشف على أسياخ حديد التسليح حتى الوصول للجزء السليم من الخرسانة زرع الأشاير بنفس العدد والقطر لشبكة التسليح المستجد او يلحم مع الأسياخ القديمة. تثبيت شبكة التسليح الجديدة.	S3-1 S3-2 S2-1	البلاطات

## 7- العلاجات المقترحة لتصدعات الخرسانة بمرافأ الصيد البحري

جدول 8: بيان أعمال العلاجات المقترحة

العلاج المقترح	بيان الأعمال	رمز العنصر	العنصر الإنشائي
طلاء حديد التسليح بمواد خاصة تأخذ في عين الاعتبار البيئة البحرية	تنظيف الاسطح وإزالة جميع الشوائب والزيوت واي مواد اخري.	W1	حائط الرصيف الشمالي
تجهيز المواد الاسمنتية البديلة ووضعها مكان الخرسانة المزالة حسب المواصفات وارشادات الجهة المصنعة لهذه المواد	نزع وإزالة المياه وسحبها طول فترة العمل إزالة اجزاء الخرسانة المتضررة الي ما وراء حديد التسليح بعمق 25 مم وتنظيف حديد التسليح باستخدام آلة السفع الرملي	W2 AB	حائط الرصيف الشرقي كتف القناة
معالجة النقاء الاسطح الراسية والافقية واماكن فواصل الصب	استبدال حديد التسليح المتضرر.	SB1	بلاطة الرصيف الشمالي والشرقي
استخدام دهانات مقاومة للعوامل الجوية في المناطق الساحلية.		SB2	

## 8-الاستنتاجات.

أشارت نتائج الاختبارات لعينات القلوب الخرسانية إلى مؤشرات سلبية حول جودة الخرسانة بالنسبة للمسامية والكثافة كما لوحظ أن التآكل بحديد التسليح منتشر على نطاق واسع وبهذا يمكن القول ان الخرسانة المسلحة في مثل هذه المنشآت حتى ولو كانت ذات غطاء خرساني مناسب ومسامية شبة منعدمة فان توغل الكلوريدات يصعب التحكم فيه.

لا توجد إشارات واضحة من إن دمك ومعالجة الخرسانة قد تم تطبيقها وفقا للمعمول به.  
حدد الغطاء الخرساني 50 مم والذي يعتبر اقل من الذي توصي به المواصفات الحديثة للمنشآت المماثلة وخصوصا بمنطقة البلل والجفاف والتي تعتبر من أكثر المناطق تعرضا لتأثير البيئة البحرية.  
توغل أيونات الكلوريدات والكبريتات والأكسجين إلي حديد التسليح المطمور بالخرسانة وإلحاق التآكل به حيث أنها متواجدة في الجو المحيط بهذه الخرسانات.

وجود مسامات أو شروخ بالأسطح الخارجية للعناصر الخرسانية المختلفة والتي أدت إلى نفاذية عالية للخرسانة والتي ساهمت بإلحاق ضرر بالغ لحديد التسليح. الإهمال في عزل الماء والرطوبة في السطح العلوي لمبني الأورام وكذلك في عزل حمامات الدور الثالث أدى إلى زيادة تضرر بلاطات السقف الدور الثاني. القصور والضعف في أعمال الصيانة التي أجريت على مبني الأورام أدى إلى استمرار تدهور حالة المبني الذي جعله يقف تماما على تقديم خدمة للمواطنين.

## 9- المراجع.

- [1]- أ.د. ار. ان سوامي، "التصميم من أجل انشاءات متينة - الاتجاه الشامل - التحدي والرؤية للقرن الواحد والعشرين" المؤتمر -الوطني الثاني لمواد البناء والهندسة الإنشائية، الخمس -ليبيا، 2004
- [2]- د. محمود امام تكنولوجيا الخرسانة قسم الهندسة الإنشائية جامعة المنصورة ، - مصر 2002.
- [3]- د. وائل محمد الدجوي فحص وصيانة المنشآت قسم الهندسة الإنشائية جامعة القاهرة ، - مصر 2012.
- [4]- Barony S.Y. and Mohamed R.A., "Concrete Deterioration of Coastal Structures-Brega Port Problem", Proceedings of Second Int. Conf. On Concrete Technology In Developing Countries, Tripoli, 1986
- [5]- P. Kumar Mehta, "Concrete in the Marine Environment", Taylor & Francis Group, 1991.
- [6]- RILEM Technical Committee (J. A. Gonzalez, S. Feliu, P. Rodriguez, W. Lobez, C. Alonzo, C. Andrade), "Some Questions on the Corrosion of Steel in Concrete Part 1: When, How and How Much Steel Corrodes" Materials and Structures
- [7]- Neville, A.M, "Properties of Concrete," Fourth and Final Edition, Addison Wesley Long Man, London, 1996, 844p
- [8]- ACI Committee 357R-84, "Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures" ACI Manual of Concrete, Practice Part 4: Bridges, Substructures, Sanitary, and Other Special Structures - Structural Properties, Farmington Hills, Michigan, 1999, 23p.
- [9]- Mather, B, "Calcium Chloride in Type V- Cement Concrete," Durability of Concrete, ACI Sp 131, Detroit, Michigan, 1992, pp.169-176.
- [10]- British Standard Institution:

- 10.1 BS1881: Part 201, Guide to the use of non-destructive method of test for hardened concrete.
- 10.2 BS1881: Part 202, Recommendations for surface hardness testing by Rebound hammer
10. 3 BS1881: Part 203, Measurement of the velocity of ultrasonic pulse in concrete
10. 4 BS1881: Part 204, Part 204. Recommendations on the use of electromagnetic Covermeters
- 10.5 BS1881: Part 120 Method for determination of the compressive strength of concrete Cores
- 10 .6 BS1881: Part 124 Methods for analysis of hardened concrete
- 10 .7 BS EN 12390-06 Testing hardened concrete. Tensile splitting strength of test specimens
- [11]- ASTM C496-1999-test for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens.
- [12]- European pre- standard ENN 206, "concrete-Performance", Production. Placing and Compliance Criteria, 1992

## دراسة تأثير بعض أنواع الرمال المحلية على خواص المونة الإسمنتية

محمد مصطفى ابوقصيصة<sup>1</sup>، عزالدين السنوسي العطشان<sup>1</sup>، فيصل عبد اللطيف العطشان<sup>1</sup>

1محاضر، قسم الهندسة المدنية، كلية التقنية الهندسية بهون، هون

mohammedaboghse86@gmail.com

## المخلص:

في قطاع البناء والتشييد، تُعتبر المونة الإسمنتية من العناصر الأساسية لإنشاء هياكل تتميز بالقوة والمتانة والوظيفية المطلوبة. على الرغم من هذا، فقد ركزت الأبحاث السابقة بشكل رئيسي على تأثير مكونات الخرسانة على خصائصها المختلفة، بينما تم إيلاء اهتمام أقل بتأثير مكونات المونة. لهذا تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير استخدام ثلاثة أنواع من الرمل المحلي المتاح في وسط وجنوب ليبيا (رمل سبها، رمل ودان، ورمل سرت) على خصائص المونة الإسمنتية.

تم إجراء اختبارات متعددة لتقييم خصائص الرمل والمونة المستخدمة في هذا البحث. اختبارات خواص الرمل شملت التدرج الحبيبي والوزن النوعي ونسبة امتصاص الرمل. أما اختبارات المونة الطازجة فتضمنت قوام المونة والكثافة الرطبة. وفيما يخص المونة المتصلبة، فقد تم إجراء اختبارات الامتصاص والكثافة والمسامية ومقاومة الضغط.

تم مقارنة خصائص أنواع الرمل الثلاثة، وتقييم كفاءة المونة الطازجة والمتصلبة معيلاً. بينت النتائج أن نوع الرمل المستخدم يؤثر بشكل كبير على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمونة. حيث أظهرت عينات المونة المصنوعة من رمال سرت وسبها أداءً متفوقاً من حيث الكثافة المرتفعة والمسامية المقبولة ومقاومة الضغط العالية مما يجعلها مناسبة للتطبيقات الإنشائية التي تتطلب متانة وقوة عالية. بالمقابل، أظهرت المونة المصنوعة من الرمال الأخوذة من ودان نسبة امتصاص أعلى وكثافة ومقاومة ضغط أقل، مما يجعلها أقل مثالية للتطبيقات التي تتطلب قوة ميكانيكية عالية، لكنها قد تكون مفيدة في التطبيقات التي تتطلب نفاذية عالية.

بشكل عام، توفر هذه الدراسة رؤية قيمة حول تحسين استخدام الركام المحلي في إنتاج المونة الإسمنتية، مما يعزز جودة وكفاءة ممارسات البناء في ليبيا. ويوصى بإجراء مزيد من الأبحاث لاستكشاف أنواع أخرى من الرمال المحلية وتأثيراتها في ظروف مختلفة.

الكلمات الدالة: الرمال المحلية، المونة الإسمنتية، الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للمونة الإسمنتية، المونة الطازجة والمتصلبة

## مقدمة

في قطاع البناء والتشييد، تُعد الخلطات الإسمنتية من خرسانة ومونة عنصرين متكاملين لتنفيذ منشآت تمتاز بالقوة والمتانة والخدمية المطلوبة لتلبية الوظائف المعدة من أجلها. على الرغم من هذا، فإن الأبحاث السابقة غالباً ما

ركزت بشكل أكبر على تأثير مكونات الخرسانة على خصائصها المختلفة، في حين تم إيلاء اهتمام بحثي أقل بتأثير مكونات المونة على خصائصها. على سبيل المثال، تم إجراء دراسة لتقييم تأثير مصدر الركام والإسمنت المتوفر في دولة العراق على قوة الضغط لمكعبات الخرسانة [1]. تم استخدام 192 مكعباً خرسانياً من خلطات خرسانية مختلفة تضمنت ركاماً خشناً وناعماً من أربعة مصادر مختلفة مع نوعين من الإسمنت. أظهرت النتائج تبايناً ملحوظاً في جودة الخرسانة حسب تغير مكوناتها، مما يؤكد على أهمية الاختيار الدقيق لمواد البناء لتحقيق أفضل الخصائص الهندسية للخرسانة المستخدمة في المشاريع.

محلياً، أجرى سلطان وآخرون [2] دراسة تستخدم نوعاً واحداً من الركام الناعم مع نوعين من الركام الخشن (من الخمس وزليتين) وإسمنت من عدة مصانع لإنتاج عينات خرسانية. أظهرت النتائج أن تغيير مصادر الإسمنت والركام الخشن أثر بشكل ملحوظ على مقاومة الضغط للخرسانة، مع وجود اختلافات في الأداء التشغيلي وفقاً لاختبارات الهبوط. كذلك، قام بلاش وآخرون [3] باستكشاف خصائص الخرسانة المنتجة باستخدام ركام محلي في وسط وجنوب ليبيا، مع التركيز على تأثير استخدام نوعين من الركام الخشن (ركام سرت وركام الجفرة)، وثلاثة أنواع من الرمال (رمال سبها، ودان، وزلة). أظهرت النتائج أن الخرسانة التي تحتوي على ركام الجفرة الخشن قدمت أداءً أفضل من حيث القوة الميكانيكية وقوة الضغط، وأظهرت تأثيرات متباينة لأنواع الرمال الثلاثة على خصائص الخرسانة.

وفي دراسة أجرتها أمال وآخرون [4]، تم تقييم تأثير أربعة أنواع من الرمل المحلي على خصائص الخرسانة في شرق ليبيا: رمل شط البدين، رمل خليج البمبه، رمل ظلميته، والرمل الصحراوي. أظهرت النتائج أن رمل خليج البمبه قدم أفضل أداء ميكانيكي، بينما كانت الخلطة المحتوية على الرمل البحري الأفضل في مقاومة الضغط والانحناء والشد.

كما أجرى الفقهي والصحراوي [5] دراسة لتقييم تأثير ثلاثة أنواع من الرمل المحلي (رمل زليتين، رمل سيدي السايح، ورمل وادي سوف الجين) على خصائص الخرسانة، حيث أظهرت النتائج اختلافاً في مقاومة الضغط تبعاً لنعومة الرمل، حيث أعطى رمل وادي سوف الجين الأقل نعومة أقل مقاومة ضغط، بينما قدم رمل زليتين الأكثر خشونة أعلى مقاومة ضغط.

وفي دراسة أجراها الساعدي وأبو فارس [6]، تم تقييم تأثير نوعين من الركام (الحجر الجيري وحصى الأودية) على مقاومة الضغط للخرسانة باستخدام رمل من شاطئ زليتين كركام ناعم. أظهرت النتائج أن الخرسانة المصنوعة من حصى الأودية أعلى قابلية للتشغيل وأفضل مقاومة للضغط مقارنة بالخرسانة المصنوعة من ركام الحجر الجيري.

بالرغم مما سبق، إلا أن الأبحاث التي تتناول خصائص أنواع الركام المحلي في ليبيا لا تزال محدودة للغاية. حيث تركز هذه الدراسات غالباً على تأثير نوعي الركام الخشن والناعم على خصائص الخرسانة، مع إغفال لخصائص المونة الإسمنتية. هذا بالرغم من الدور المهم الذي تلعبه المونة الإسمنتية كمكون أساسي في قطاع البناء والتشييد في ربط طوب الحوائط، وأعمال المحارة، والتكسيات، وأعمال الإصلاحات والترميم وغيرها. لذا، هناك حاجة لمزيد

من الأبحاث لتحديد تأثير أنواع الرمل المحلية المختلفة على خصائص المونة الإسمنتية، مما يسهم في تحسين جودتها واستخدامها في مشاريع البناء والتشييد في ليبيا.

عليه، يهدف هذا البحث إلى سد هذه الفجوة المعرفية من خلال دراسة تأثير ثلاثة أنواع من الركام الناعم المستخدم في وسط وجنوب ليبيا (رمل سبها ورمل ودان ورمل سرت) على خصائص المونة الإسمنتية مما يوفر فهم أعمق لكيفية تحسين استخدام الركام المحلي لتعزيز جودة وأداء المونة الإسمنتية، ليسهم في تطوير ممارسات البناء والتشييد بطرق أكثر فعالية وكفاءة.

## 2. البرنامج العملي

### 1.2 المواد المستخدمة

#### 1.1.2 الاسمنت

في هذه الدراسة، تم استخدام إسمنت بورتلاندي عادي (Type I) صنف N42.5، وهو من إنتاج مصنع الاتحاد العربي للإسمنت (زليتن). الاسمنت مطابق للمواصفات القياسية الليبية رقم 340 [7].

#### 2.1.2 الماء

تم استخدام ماء صالح للشرب في إعداد الخلطات ومعالجة العينات، وهو ضمن الحدود المسموح بها في المواصفات الليبية رقم 204 [8].

#### 3.1.2 الرمل

الشكل 1 يوضح الأنواع الثلاثة من الرمل المستخدمة في هذه الدراسة، وتشمل رمل سبها الصحراوي، رمل ودان الصحراوي، ورمل سرت البحري. سيتم عرض ومقارنة خصائص أنواع الرمل الثلاثة في الفقرة 1.3.



شكل (1): أنواع الرمل المستعملة في هذه الدراسة

## 2.2 تصميم الخلطة

وفقاً لتوصية ASTM-C109 [9]، تم تحديد نسبة ثابتة من الأسمنت إلى الرمل (C/S) تساوي 1:2.75. أما نسبة الماء إلى الأسمنت (W/C) فتم تحديدها معملياً بـ 0.6، باستخدام اختبار طاولة الانسياب [10] للحصول على قوام مناسب. الجدول 1 يعرض نسب الخلط المعتمدة لكل عينات هذا الاختبار.

الجدول (1): نسب خليط عينات المونة لكل متر مكعب

W/C	وزن (كجم)	الأسمنت وزن الركام (كجم)
60.	028	077

## 3.2 الاختبارات وتجهيز العينات

تم إجراء عدة اختبارات لتقييم خواص الرمل والمونة الطازجة والمونة المتصلبة. بالنسبة لاختبارات خواص الرمل، تم تنفيذ اختبار التدرج الحبيبي وفقاً للمواصفة ASTM C128 [11]، والوزن النوعي للرمل ونسبة امتصاص الرمل وفقاً للمواصفة ASTM C128 [11]. أما بالنسبة لاختبارات المونة الطازجة، فقد شملت قوام المونة وفقاً للمواصفة ASTM C230 [10]، والكثافة الرطبة وفقاً للمواصفة ASTM C138 [12]. أما فيما يخص اختبارات المونة المتصلبة، فقد تضمنت الامتصاص والكثافة والمسامية وفقاً للمواصفة ASTM C642 [13]، ومقاومة الضغط وفقاً للمواصفة ASTM C109 [9].

تم خلط جميع الخلطات باستخدام خلاط ميكانيكي، ثم تم صب ودمك المونة الإسمنتية الطازجة على طبقتين داخل قوالب مكعبات (50×50×50 ملم) لاختبارها تحت تأثير الضغط وفق الخطوات المعتمدة بالموصفات الأمريكية (ASTM C109) [9]. كما تم تجهيز وصب عينات أسطوانية بقطر 70 مم وارتفاع 100 مم لاختبار نسبة الامتصاص ونسبة الفراغات الهوائية للمونة الإسمنتية المتصلبة، وفقا للمواصفات الأمريكية (ASTM C642) [13]. بعد مرور 24 ساعة من الصب، وضعت عينات المونة المتصلبة في أحواض ماء للمعالجة.



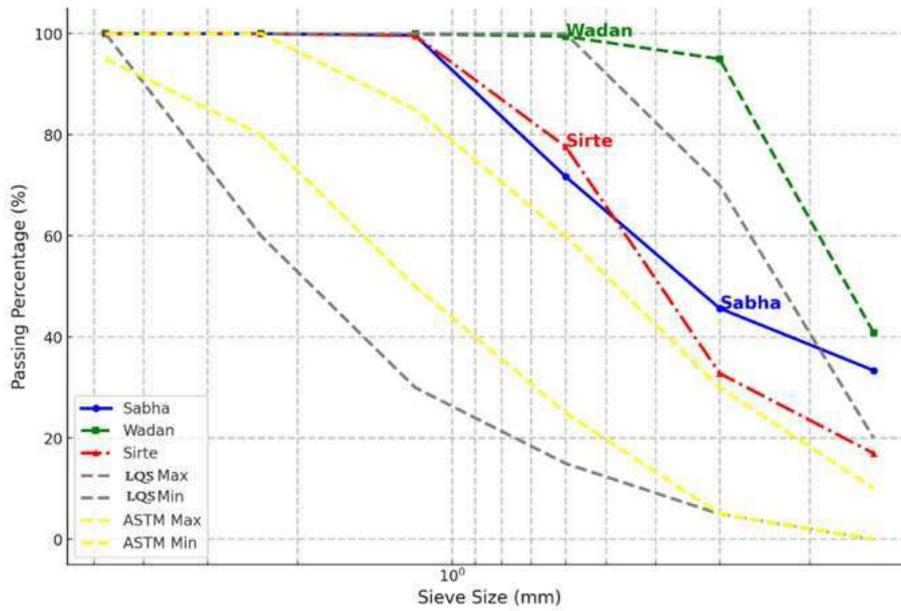
شكل (2): عينات المونة المتصلبة

## النتائج

### 1.3 نتائج اختبارات الرمل

#### 1.1.3 التدرج الحبيبي

يعرض الشكل 3 النتائج المستخلصة من التحليل المنخلي لعينات الرمل المأخوذة من سرت وودان وسبها ومدى مطابقتها للمواصفات القياسية الليبية (LQS) [14] والأمريكية (ASTM) [15]. كما هو موضح بالشكل، إن أنواع الرمل الثلاثة تقع خارج حدود المواصفات القياسية الأمريكية. ولكن، عند النظر إلى حدود المواصفات القياسية الليبية، نجد أن الرمال المأخوذة من مدينة سرت تلي المعايير المحددة من قبل BS. أما بالنسبة للرمال المأخوذة من سبها، فإنها تقع ضمن حدود BS بشكل جزئي. في حين كانت عينة الرمال المأخوذة من ودان تقع خارج حدود BS بشكل شبه كامل، نظرا لنعومتها العالية.

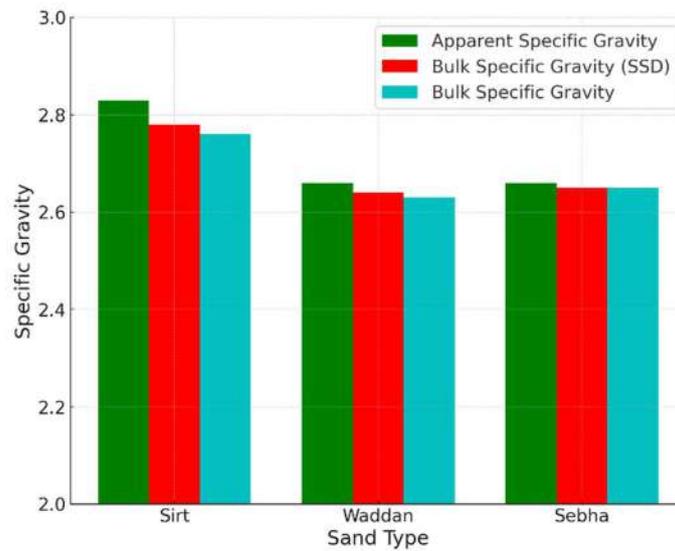


الشكل (3): التدرج الحبيبي لعينات الركام

جدير بالذكر أن زيادة المساحة السطحية لحبيبات الركام، الناتجة عن وجود نسبة عالية من الحبيبات الناعمة، تؤدي إلى زيادة الطلب على كمية الماء والإسمنت اللازمة لتحقيق التماسك الأمثل بين مكونات المونة الإسمنتية. هذه الزيادة في المكونات يمكن أن تؤدي إلى تكاليف إضافية وتقليل فعالية المونة، حيث أن نسبة الماء العالية يمكن أن تقلل من القوة والمتانة بسبب زيادة الفراغات. بالتالي، فإن اختيار الرمال المناسبة يتطلب دراسة دقيقة لتوزيع حجم الحبيبات (التدرج الحبيبي) لضمان تحقيق الأداء الأمثل والاقتصادي في استخدام المواد، من خلال تحقيق التوازن بين تقليل الفراغات وزيادة الكثافة للحصول على مونة قوية ومتينة وقابلة للتشغيل وبأقل تكلفة ممكنة.

### 2.1.3 الوزن النوعي للرمل

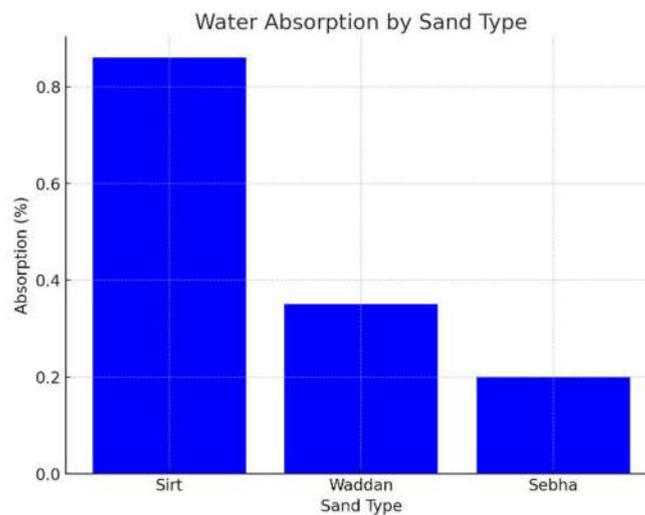
يوضح الشكل 4 نتائج اختبار الوزني لأنواع الرمل الثلاثة، والتي تشمل الوزن النوعي الظاهري ( Apparent Specific gravity)، والوزن النوعي الكلي (Bulk Specific Gravity)، والوزن النوعي الكلي المشبع وسطحه جاف (Bulk Specific Gravity SSD). كما هو موضح في الشكل، تُظهر عينات رمال سرت أعلى قيم للوزن النوعي بين الأنواع الثلاثة، حيث يبلغ الوزن النوعي الظاهري حوالي 2.85، والوزن النوعي الكلي في حالة التشبع والسطح الجاف (SSD) حوالي 2.75، والوزن النوعي الكلي حوالي 2.7. هذا يشير إلى أن رمال سرت تحتوي على مكونات تركيبية أثقل أو ذات كثافة عالية وقليلة الفراغات الداخلية. في المقابل، تُظهر عينات الرمال الصحراوية من ودان وسبها قيماً أقل نسبياً للوزن النوعي.



شكل (4): الوزن النوعي حسب نوع الرمل

## 3.1.3 نسبة امتصاص الرمل

يعرض الشكل 5 نتائج نسبة الامتصاص للماء لأنواع الرمال الثلاثة. تمثل هذه النتائج أهمية كبيرة في تقييم مدى قدرة الرمال على امتصاص الماء، مما يؤثر مباشرة على خصائص المونة الإسمنتية والمتانة الإجمالية للهياكل الخرسانية. تُظهر عينات رمال سرت أعلى نسبة امتصاص للماء، حيث تصل إلى حوالي 0.8%. بينما تُظهر عينات رمال ودان نسبة امتصاص ماء أقل مقارنة برمال سرت، حيث تبلغ حوالي 0.4%. تُظهر عينات رمال سبها أقل نسبة امتصاص للماء، حيث تصل إلى حوالي 0.3%. ولكن كل هذه القيم أقل بكثير من الحدود المقبولة (3%) حسب حدود المواصفات القياسية الليبية [14].

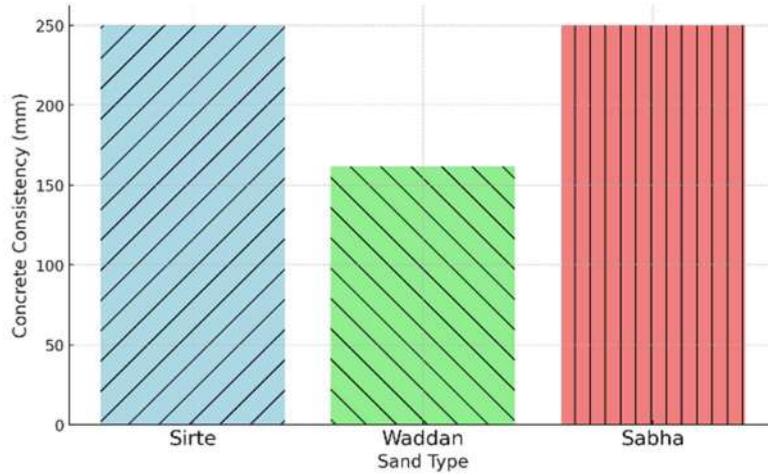


شكل (5): نسبة الامتصاص حسب نوع الرمل

## 2.3 نتائج اختبارات المونة الطازجة

## 1.2.3 قوام المونة

يوضح الشكل 6 علاقة قوام عينات المونة الإسمنتية الطازجة المصنوعة من رمال سبها، وودان، وسرت باستخدام طاولة الانسياب. من خلال الشكل، نلاحظ أن الخلطات الإسمنتية المصنوعة من رمال سرت وسبها تمتازان بقوام خرسانة متماثل، حيث يبلغ متوسط الانسياب حوالي 250 مم لكلا النوعين من الرمال. هذا يشير إلى أن رمال سرت وسبها لها خصائص قوام متقاربة على الرغم من اختلاف تدرجهما ونسبة الامتصاص، بالإضافة إلى نوعيتهما كرمال بحري وصحراوي، على التوالي.

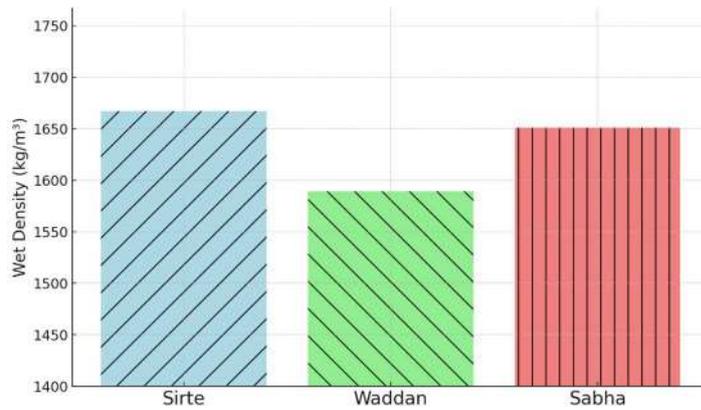


شكل (6): قوام عينات المونة الطازجة الناتجة من اختبار طاولة الانسياب

في المقابل، نلاحظ أن الخلطات المصنوعة من رمال ودان تظهر قوام خرسانة أقل، بمتوسط يبلغ حوالي 162 مم. يمكن تفسير هذا التباين بانخفاض نعومة الرمل المستجلب من ودان مقارنة بالرمال الأخرى، مما يؤدي إلى زيادة المساحة السطحية للحبيبات الرملية وبالتالي يتطلب كميات أكبر من المياه والإسمنت لربط هذه الحبيبات معاً، مما يؤثر على القوام الكلي للخلطة.

## 2.2.3 الكثافة الرطبة

يوضح الشكل 7 علاقة الكثافة الرطبة لعينات المونة الإسمنتية الطازجة المصنوعة من رمال سرت، وودان، وسبها. تعتمد الكثافة للخلطات الإسمنتية عادةً على كمية الفراغات الموجودة بين مكونات الخلطة وعلى وزن المواد نفسها. الخلطات التي تحتوي على فراغات أقل ستكون ذات كثافة رطبة أعلى نظراً لأن الفراغات تمتلئ بالماء والإسمنت، مما يزيد من الوزن الكلي للخلطة.



شكل (7): الكثافة الرطبة لعينات المونة الطازجة

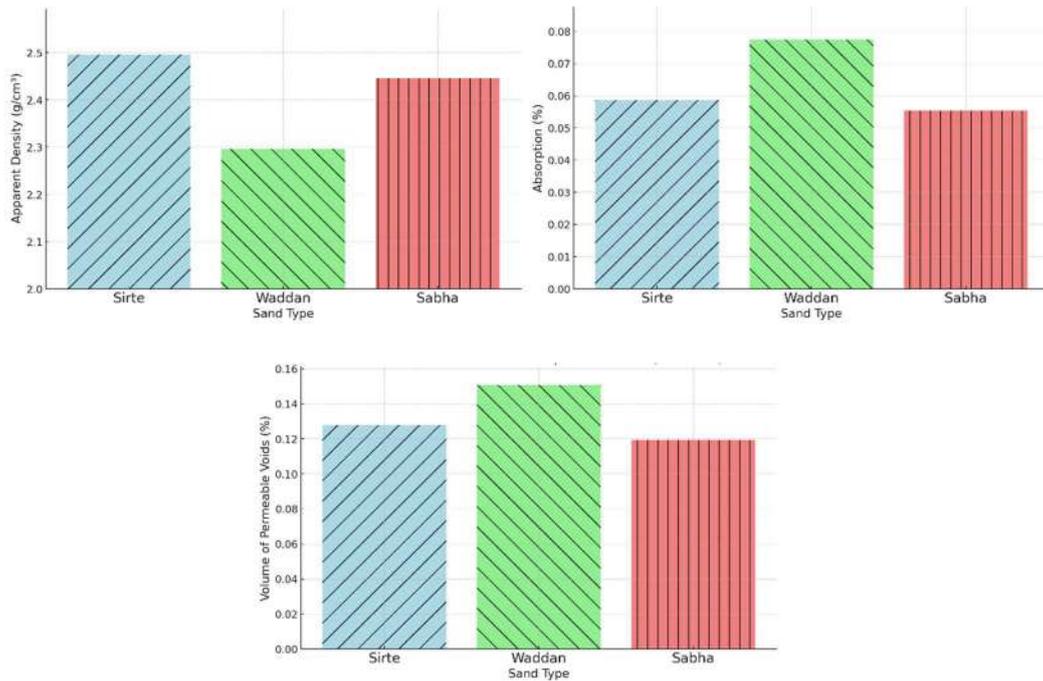
من الشكل، نجد أن الكثافة الرطبة لعينات المونة باستخدام الرمل من سرت تبلغ  $1667 \text{ kg/m}^3$ ، بينما الكثافة الرطبة لعينات المونة باستخدام الرمل من ودان هي  $1589 \text{ kg/m}^3$ ، وأخيراً الكثافة الرطبة لعينات المونة باستخدام الرمل من سبها تبلغ  $1651 \text{ kg/m}^3$ .

نلاحظ أن الكثافة الرطبة للعينات المأخوذة من سرت هي الأعلى بين العينات الثلاث، مما يشير إلى أن رمل سرت يساهم في إنتاج مونة ذات كثافة أعلى بالمقارنة مع رمل ودان وسبها، وهي نتائج تتوافق مع الوزن النوعي العالي نسبياً لرمل سرت كما هو في القسم 2.1.3. من جهة أخرى، تظهر العينات المأخوذة من ودان الكثافة الرطبة الأقل، نظراً للانخفاض النسبي للوزن النوعي للرمل المستخدم بالإضافة إلى التدرج الحبيبي الناقص لهذا الرمل مما يؤدي إلى زيادة الفجوات البينية بين حبيبات الرمل. بشكل عام، يعزى الاختلاف في الكثافة الرطبة للعينات إلى خصائص الرمل المستخدمة من كل منطقة، مثل توزيع حجم الحبيبات، والوزن النوعي للرمل المستخدم.

### 3.3 نتائج اختبارات المونة المتصلبة

#### 1.3.3 امتصاص وكثافة ومسامية العينات المتصلبة

يوضح الشكل 8 نتائج اختبارات الامتصاص والكثافة الظاهرية وحجم الفراغات المنفذة لعينات المونة المتصلدة المصنوعة باستخدام أنواع الرمل الثلاثة. كما هو موضح، تُظهر العينات المجهزة باستخدام رمال سبها خصائص متوازنة تجعلها مناسبة للتطبيقات الإنشائية التي تتطلب متانة وديمومة. حيث تبلغ نسبة امتصاص الماء 5.5%، والكثافة الظاهرية تصل إلى  $2.4 \text{ جم/سم}^3$ ، مع حجم فراغات منفذة بنسبة 12%. هذه الخصائص تشير إلى توازن جيد بين الكثافة العالية والمسامية المعتدلة، مما يجعلها ذات متانة جيدة. حيث تعزز الكثافة العالية وقلّة الفراغات من مقاومة المونة لتسرب المواد الضارة، مما يساهم في حماية حديد التسليح من التآكل ويزيد من العمر الافتراضي للمنشأ.



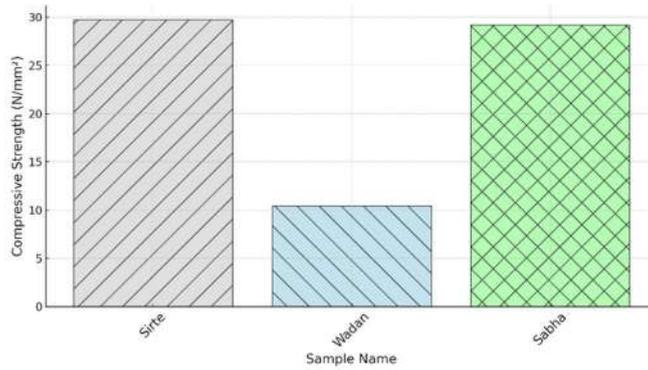
شكل (8): امتصاص وكثافة ومسامية المونة الطازجة

بالمثل، تُظهر العينات المصنوعة من رمال سرت خصائص مشابهة لتلك المصنوعة من رمال سبها، مع بعض الفروقات (نسبة امتصاص 5.9%، والكثافة الظاهرية تصل إلى 2.5 جم/سم<sup>3</sup>، مع حجم فراغات منفذة بنسبة 13%). هذه النتائج تشير إلى أن عينات رمال سرت أيضاً تتمتع بكثافة عالية نسبياً وانخفاض في المسامية، مما يقلل من امتصاص الماء ويعزز من متانة وقوة المونة .

في المقابل، تُظهر العينات المصنوعة من رمال ودان خصائص مختلفة نسبياً. حيث تبلغ نسبة امتصاص الماء في هذه العينات 7.8%، وهي الأعلى بين العينات الثلاث، مع كثافة ظاهرية أقل وتبلغ 2.3 جم/سم<sup>3</sup>، وحجم فراغات منفذة بنسبة 15%، وهي الأعلى. هذه الخصائص تشير إلى أن العينات المجهزة باستعمال رمال ودان تتمتع بنفاذية عالية وقدرة كبيرة على امتصاص الماء، مما يجعلها أقل مثالية للتطبيقات التي تتطلب متانة وديمومة عالية. في حين قد تكون مفيدة في التطبيقات التي تتطلب نفاذية عالية بغرض تصريف المياه وتغذية المياه الجوفية.

### 2.3.3 مقاومة الضغط

يوضح الشكل 9 مقارنة لمتوسط مقاومة الضغط لعينات المونة المتصلبة المصنوعة من رمل سبها، وودان، وسرت. من خلال الشكل، نلاحظ أن الخلطات الإسمنتية المصنوعة من رمال سبها وسرت تماثلان بمقاومة ضغط مرتفعة ومقاربة، حيث يبلغ المتوسط حوالي 29.2 و 29.7 نيوتن/مم<sup>2</sup> على التوالي. هذا يشير إلى أن رمال سبها وسرت توفر بيئة مثالية لتكوين خلطة إسمنتية ذات خصائص ميكانيكية متفوقة. في المقابل، نلاحظ أن العينات المصنوعة من رمال ودان تظهر مقاومة ضغط أقل بكثير، بمتوسط يبلغ حوالي 10.4 نيوتن/مم<sup>2</sup>.



شكل (9): مقاومة الضغط لعينات المونة المتصلبة

يعكس التباين الواضح في مقاومة الضغط بين الخلطات تأثير التدرج الحبيبي ونعومة الرمال والوزن النوعي ونسبة الامتصاص لعينات الرمل. فعندما يبتعد التدرج الحبيبي عن حدود المواصفات، على سبيل المثال، وتزداد نعومة الرمل، تزداد بالتالي المساحة السطحية لحبيبات الرمل. هذا يتطلب كميات أكبر من المياه والإسمنت لربط هذه الحبيبات معاً، مما يؤدي إلى انخفاض قوة الضغط للخلطة الإسمنتية.

ومن المهم الإشارة إلى أن رمال ودان المستعملة في هذا البحث لا تمثل جميع أنواع الرمال الموجودة في المنطقة. حيث تختلف نعومة الرمل في ودان بشكل من موقع إلى آخر وحسب الوقت الذي يتم أخذ العينة فيه خلال النهار. على سبيل المثال، الرمل الصحراوي الذي يتم جمعه في الصباح يكون عادة أكثر خشونة قبل أن يتم البدء في استهلاك ونقل هذه الطبقات العلوية، بينما الرمل الذي يتم جمعه في بقية اليوم يكون أقل خشونة. الرمل المستعمل من ودان في هذا البحث كان ناعماً للغاية، ومن الممكن أن يؤدي استخدام رمال أكثر خشونة من نفس المنطقة إلى تحسين مقاومة الضغط في الخلطات الإسمنتية.

### خاتمة

في هذه الدراسة، تم تقييم تأثير ثلاثة أنواع من الرمل المحلي المتاح في وسط وجنوب ليبيا وتحديداً من مناطق سبها، ودان، وسرت على خواص المونة الإسمنتية. أظهرت النتائج أن نوع الرمل المستخدم يلعب دوراً مهماً في تحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمونة الإسمنتية.

أظهرت عينات المونة المصنوعة من رمال سرت وسبها أداءً متفوقاً من حيث الكثافة الرطبة والوزن النوعي، وكذلك توازناً جيداً بين الكثافة العالية والمسامية المعتدلة، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات الإنشائية التي تتطلب متانة وديمومة.

على الجانب الآخر، عكست نتائج عينات المونة المصنوعة من رمال ودان خصائص مختلفة، حيث أظهرت نسبة امتصاص أعلى وكثافة أقل، مما يجعلها أقل مثالية للتطبيقات التي تتطلب قوة ميكانيكية عالية، لكنها قد تكون مفيدة في التطبيقات التي تتطلب نفاذية عالية.

بالرغم من أن نتائج هذه الدراسة تساهم في فهم تأثير أنواع الرمل المختلفة على خصائص المونة الإسمنتية، إلا أن هناك حاجة لمزيد من الأبحاث لتوسيع نطاق الدراسة لتشمل أنواعا أخرى من الرمال المحلية وتحليل تأثيرها في ظروف مختلفة. كما يُوصى بدراسة تأثير نعومة الرمل على أداء المونة في تطبيقات مختلفة لضمان استخدام الموارد المحلية بشكل أمثل في مشاريع البناء في ليبيا.

## المراجع

- [1] ياسين علي صالح. (2010) تأثير تغيير مصادر الركام والسمنت على مقاومة الانضغاط للخلطات الخرسانية. مجلة هندسة الرفادين، 18(4)، 10-21.
- [2] منير سلطان، عبدالفتاح ميلاد دعباح، محمد احمودة الفائدي، حسين علي البلعزي. (2021). تأثير اختلاف مصادر الإسمنت والركام الخشن على مقاومة الضغط للخرسانة المصنعة من مواد محلية. المؤتمر الهندسي الثالث لنقابة المهن الهندسية بالزاوية. ليبيا.
- [3] Blash, A. M., Altloate, A., Alatshan, F., & Al-Sharif, A. A. (2017) Properties of Concrete Produced Using Locally Available Aggregates in Libya . International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 5 1480-1488
- [4] أمال عبدالعاطي موسي، صالح محمد عبد الفتاح، علي عيد عبدالرزاق. (2021). دراسة تأثير بعض مصادر الرمل على خواص الخرسانة. في المؤتمر الهندسي الثالث لنقابة المهن الهندسية بالزاوية، ليبيا.
- [5] إبراهيم محمد الفقيهي، حمزة علي الصحرابي. (2021). استخدام رمال وادي سوف الجين-بني وليد الشبه صح ارية في الخرسانة ومقارنتها برمال الساحل. المؤتمر الثاني للتشييد في المناطق الصحراوية، طرابلس، ليبيا.
- [6] صلاح الدين محمد الساعدي، وجمعة فرج أبو فارس. (2021). تأثير نوع الركام على مقاومة الضغط للخرسانة. المؤتمر الوطني الثامن لمواد البناء والهندسة الإنشائية، بني وليد، ليبيا.
- [7] المواصفات القياسية الليبية 340 (2009) الإسمنت البورتلاندي، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية، طرابلس، ليبيا
- [8] المواصفات القياسية الليبية 294 (2013) المياه المستعملة في خلط ومعالجة الخرسانة والمونة الإسمنتية، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية، طرابلس، ليبيا
- [9] ASTM International (2016). ASTM C109– Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens), West Conshohocken, USA.
- [10] ASTM International (2008). ASTM C230– Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement, West Conshohocken, USA.

- [11] ASTM International (2007). ASTM C128– Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate, West Conshohocken, USA.
- [12] ASTM International (2001). ASTM C138– Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete, West Conshohocken, USA.
- [13] ASTM International (2013). ASTM C642– Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, West Conshohocken, USA.
- [14] المواصفات القياسية الليبية 49 (2002) ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية ، المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية، طرابلس، ليبيا
- [15] ASTM International (2019). ASTM C136– Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, West Conshohocken, USA.

## نبذة عن المؤتمر



نظرا لما تزخر به ليبيا من توفر خامات مواد البناء بكميات ونوعيات ودرجات متفاوتة من الجودة تسمح غالبا بالوفاء بجميع احتياجات في مجال البناء والتشييد نظرا لقربها وسهولة الوصول اليها لاستغلالها بالشكل الأمثل ، بالإضافة الى ملائمتها لظروف المناطق العمرانية فقد جاءت فكرة عقد

هذه السلسلة من المؤتمرات الوطنية المتخصصة في مجال مواد البناء والهندسة الإنشائية وذلك لهدفين .. الأول لخلق مناخ علمي على مستوي الوطن لتلقي فيه الخبرات الوطنية و الأكاديمية من جميع أقسام الهندسة المدنية والمعمارية بالجامعات الليبية مرة كل عامين لطرح أبحاثها وتبادل الأفكار للرفي بالمستوي العلمي والبحثي لأقسام الهندسة المدنية والمعمارية بشكل خاص والجامعات الليبية بشكل عام .. والهدف الثاني هو تحفيز المهندسين وطلاب الدراسات العليا والباحثين للبحث العلمي وتوفير المناخ العلمي لنشر بحوثهم ، وبناء على ذلك فقد كان أول انطلاق لفكرة هذه السلسلة من المؤتمرات من قسم الهندسة المدنية بكلية العلوم الهندسية والتقنية بجامعة سبها سابقا عام 2002 تحت اسم المؤتمر الوطني الأول لمواد البناء والهندسة الإنشائية ، ونظرا للنجاح الكبير الذي حظي به المؤتمر آنذاك، أوصى المؤتمر بالاستمرار بعقده كل عامين ، وتم تشكيل اللجنة الدائمة للمؤتمر أوكل إليها مهمة متابعة عقد هذه السلسلة من المؤتمرات ، وتوالى بعدها انعقاد المؤتمر لأربع دورات متتالية في عام 2004 ، 2006 ، 2008 ، 2010 في كل من جامعة الهرقوب ومصراته والزاوية و أكاديمية الدراسات العليا بجزور، ونظرا للظروف التي مرت بها بلادنا الحبيبة فقد تأخر عقد الدورة السادسة عن موعدها المقرر في عام 2012 ، ولكن بفضل الله أولا ثم بالجهود المتواصلة للجنة الدائمة للاستمرار في عقد هذه السلسلة من المؤتمرات فقد تم عقد المؤتمر السادس بجامعة الجبل الغربي بغريان عام 2016 ، وتوالى بعدها انعقاد الدورات فى عام 2018 ، 2020 ، 2022 في كل من جامعة عمر المختار بالبيضاء وجامعة بني وليد وجامعة طرابلس على التوالي ، تسع دورات للمؤتمر تم عقدها بعدد من الجامعات الليبية على مدى العشريون سنة الماضية ، نشر فيها أكثر من 450 بحثا محكما ، في تسع مجلدات متوفرة بمعظم مكاتب الجامعات الليبية ، شارك في إعدادها أكثر من 600 باحثا وباحثة على مستوي الوطن ، واستضيفت فيها أكثر من 35 محاضرة من شخصيات أكاديمية محلية ودولية من الخبرات العالمية في هذا المجال من كل من مصر وتونس وأمريكا وبريطانيا وكندا وها هو المؤتمر الوطني العاشر (الفضي) لمواد البناء والهندسة الإنشائية يتم استضافته من قبل جامعة سرت في الفترة من 15 - 16 ابريل 2025 إيماننا منها بأهمية البحث والتطوير في هذا المجال. وبهذه المناسبة تود اللجنة العلمية للمؤتمر واللجنة الدائمة أن تقدم للمشاركين في هذا المؤتمر والقارئ وكل المؤسسات والهيئات ذات العلاقة بموضوع المؤتمر هذه الحصيلة العلمية والمتمثلة في الدراسات والبحوث التي وصلت في الموعد المحدد والتي استوفت الشروط الخاصة بالمحتوي العلمي والطباعة التي أقرتها اللجنة العلمية ، والتي قامت بترتيبها وتبويبها حسب محاور المؤتمر في مجلد واحد ، ويحدونا الأمل في أن تتم الاستفادة من هذه الدراسات والبحوث وما تتضمنه من مقترحات وما ينتج عن هذا المؤتمر من نتائج وتوصيات.

أ.د. عبد السلام المبروك عكاشة

رئيس اللجنة الدائمة